

المجلد 23 - العددان 3/2
فبراير / مارس 2007

SCIENTIFIC
AMERICAN

February / March 2007



أسرار البراكين العملاقة



التلوث والخوض في الفضلات



تأثير برامج الطب العدلي (الشرعي)
التلفزيونية في قرارات المحلفين



هل الخلايا الجذعية
المسبب الحقيقي للسرطان؟

مجلة العلوم

الترجمة العربية لمجلة ساينس الأمريكية
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي



العددان 227/226 - السعر: 1.500 دينار كويتي

فجر عصر الإنسانية (الروبوتية)

ترجمة في مراجعة

المقالات

أغرب الأقمار في المنظومة الشمسية

خضر الأحمد - عدنان الحموي

< J جيوت - < S شيارد - < I كليا >

ثمة صنف لأنظمة من السواتل الكوكبية يسلك مدارات غريبة، وغالبا ما يتحرك بعكس اتجاه حركة حبيبات سائر المنظومة الشمسية. وهذه السواتل تدفعنا إلى إعادة النظر في أفكارنا عن تكون هذه المنظومة



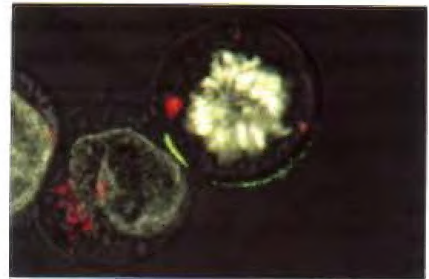
4

ما يثير الاستغراب عند المشبك المناعي

زياد القطب - محمد توفيق الرحاوي

< M D ديقيز >

عندما تتصل خلايا الجهاز المناعي بعضها ببعض فذلك يتم عبر تراكيب قصيرة الأجل تشبه إلى حد مدهل تلك التراكيب الموجودة بين العصبونات في الجهاز العصبي



12

هل الخلايا الجذعية

المسبب الحقيقي للسرطان

هاني رزق - محمد عبد الحميد شاهين

< F M كلارك - < M W بيكر >

لقد عُرف أن إمكان تحول الخلايا الجذعية إلى خلايا خبيثة يشكل أصل عدد قليل من أنواع السرطان، وقد يكون السبب في سرطانات أخرى كثيرة.



20

خوض في الفضلات

تيسير الشامي - محمد سمير مسعود

< A مالم >

نتيجة للتنمية العمرانية غير المدققة على طول السواحل الأمريكية، يتزايد تلوث الشواطئ وأمكنة نمو المحار بالميكروبات المسببة للأمراض



28

إنعاش مناطق ميتة

أحمد أصفري - وليد بوحمر

< L مي >

في جميع أنحاء العالم، يؤدي وجود المغذيات في المياه السطحية الجارية إلى تحويل النحر الساحلية إلى مناطق فقيرة بالأكسجين، ومن ثم مناطق ميتة ومعدية للحياة ولكن مثال البحر الأسود يبين أنه يمكن إنقاذ هذه المناطق



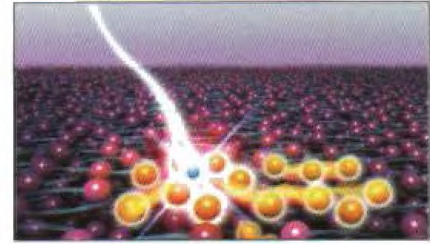
36

الرؤية بواسطة أجهزة فائقة التوصلية

بسام المعصراني - أحمد فؤاد باشا

«D K» (إبراهيم)

بإمكان مُحسّنات مصنوعة من مادة فائقة التوصلية كشف فوتونات منفردة. ولهذه المُحسّنات تطبيقات مختلفة تمتد من مكافحة الإرهاب إلى علم الفلك



44

أسرار البراكين العملاقة

ناصر عباس - التحرير
فؤاد العجل

«V. ٧» (باينمان)

في غابر الزمن، حدثت أربعة اندفاعات بركانية عملاقة في ولايتي كاليفورنيا و وايومنغ جعلت مساحات واسعة من أمريكا الشمالية تحت قدمين من الرماد البركاني. وفي هذا الرماد بلورات ميكروية تقدم أدلة على أكثر الاندفاعات البركانية تدميراً في العالم



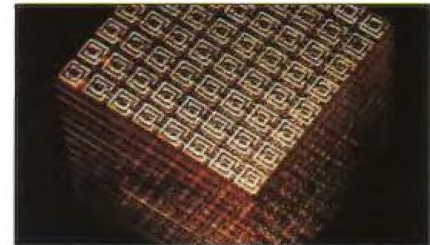
52

البحث من أجل صنع عدسة فائقة

أمل كفا - سلطان المطيري
بسام المعصراني - التحرير

«B J» (بندري) - «R D» (سميث)

بإمكان العدسة الفائقة، المصنوعة من «المواد المرفقة» metamaterials ذات الخواص الضوئية العجيبة، أن تتخطى حدود الميز التي يفرضها الطول الموجي للضوء المستخدم



60

تأثير برامج الطب العدلي (الشرعي) التلفازية في قرارات المحلفين

خضر الأحمد - عدنان الحموي

«M. M» (مؤن)

أدت العروض التلفازية للتحقيقات في الجرائم التي تستعين بمختبرات الطب العدلي إلى اهتمام متزايد بعلم التحقيقات الجنائية؛ لكن هذه العروض قد تجعل المشاهدين محلفين ذوي طلبات صعبة التحقيق



68

إنسالة (روبوت) في كل بيت

حاتم النجدي - —

«R. K» (كيتس)

يتنبأ رئيس مايكروسوفت ومؤسسها «بيل كيتس» بأن الإنسالية robotics على عتبة نهضة عظمى وأن التجهيزات الذكية النقالّة سوف تكون قريباً في كل مكان.



74

وجهة نظر

تقوم ولاية كاليفورنيا بالخطوة الأولى نحو الحد من انبعاثات غاز الدفيئة المسبب للاحتباس الحراري

تقنيات

تُمكن «منظومة تحديد الموقع العالمية (GPS)» من كشف المحي في لعبة جديدة اسمها رياضة كشف المخبا geocaching

اسألوا أهل الخبرة

«كيف تخترن البطاريات الكهربائية، وكيف تفرغها»
«كيف يتسلل العابثون إلى داخل المنظومات الحاسوبية؟»

أخبار علمية

تصوير الجزيئات بالمسح الطبقي الحوسبي

84

86

أغرب الأقمار في المنظومة الشمسية⁽¹⁾

نوع غريب من السواتل الكوكبية يسبح
في مدارات متطاولة مائلة، يفتح نافذة
نطل منها على طريقة تكوّن الكواكب.

<D. جيويت> - <S.S. شيبارد> - <J. كلينا>

قبل خمس سنوات، كان اثنان منا يمضيان وقت راحتهما في ليلة غائمة على ذروة جبل ماوناكيا، وذلك بتخمين عدد الأقمار التي لم تُكتشف بعد في المنظومة الشمسية. وقد راهن أحدهما (جيويت) بمبلغ 100 دولار على أن بمقدور مقراب متطور أن يكتشف 10 أقمار جديدة على الأكثر. وقد ذكر أن الفلكيين لم يكتشفوا طوال القرن العشرين كله سوى بضعة أقمار. أما «شيبارد»، فكان أكثر تفاؤلاً. وتوقع ضعف العدد الذي خمنه زميله، وذلك استناداً إلى الحساسية المتعاطفة للآلات الفلكية الحديثة. لقد أصبح «شيبارد» حالياً أغنى من قبل، إذ إن فريقنا اكتشف منذ تلك الليلة حتى الآن 62 قمراً يدور حول الكواكب العملاقة، وأكد اكتشاف المزيد منها في المستقبل. وقد عثرت مجموعات أخرى من الفلكيين على 24 قمراً إضافياً (وبالمصطلحات الفلكية الدقيقة، هذه «سواتل» satellites لا «أقمار» moons: ذلك أنه يوجد قمر واحد، هو سائل الأرض لكن، حتى الفلكيين يستخدمون عموماً مصطلح «الأقمار» الشائع الاستعمال). ولم يتنبأ أحد بأن عائلة الشمس تضم عدداً كبيراً من الأعضاء الذين يتوارون في الظلال وقد وُصفت هذه الأعضاء بأنها لانظامية irregular، وهذا يعني أن مداراتها الإهليلجية متطاولة جداً ومائلة على مستويات استواء الكواكب التي تستضيفها. وما يسمى أقماراً نظامية regular، مثل الأرض، أو سواتل المشتري الكاليلية Galilean الكبيرة، فلها مدارات دائرية وصغيرة نسبياً واستوائية تقريباً.

وما يزيد الأقمار اللانظامية غرابة أن لمعظمها مدارات متراجعة retrograde، أي إن كلا منها يدور حول كوكبه المضيف باتجاه معاكس لاتجاه دوران الكوكب حول محوره، خلافاً للأقمار النظامية، التي لدورانها حول كواكبها المضيفة ولدوران هذه الكواكب حول محاورها، اتجاه واحد. وعلى سبيل المثال،

(1) العنوان الأصلي: THE STRANGEST SATELLITES IN THE SOLAR SYSTEM. لقد استخدمنا هنا الاسم الشائع أقمار بدلاً من سواتل، حيث - كما يتبين في الفقرة الثانية من هذه المقالة - يوجد قمر واحد وهو سائل الأرض (التحرير: Overview: Irregular Moons)

نظرة إجمالية/ الأقمار اللانظامية⁽²⁾

- اعتاد الفلكيون الظن أن معظم أقمار الكواكب تكونت من الأقراص التي تحيط بكواكبها، تماماً مثلما تكونت المنظومة الشمسية نفسها (من قرص من الغاز والغبار، تحول الجزء الخارجي منه إلى الكواكب)، ولكن بايحاء صغيرة جداً. وتتحرك هذه الأقمار في مدارات واقعة في نفس مستوى استواء الكوكب الذي تدور حوله، وينفس اتجاه دوران الكوكب حول محوره. أما الأجسام القليلة التي لا تلائم هذا النموذج، فقد اعتبرت لانتظمة.
- وبين عدد كبير من المكتشفات الحديثة، التي تستعين بكاشفات detectors رقمية متقدمة، أن عدد الأقمار اللانظامية أكبر من عدد الأقمار النظامية. وتشير مداراتها الطويلة المائلة الحلقية إلى أنها لم تتكون حيث هي حالياً، إنما كانت في مسارات تحيط بالشمس. وبصورة أساسية، هي كويكبات ومذنبات أسرته الكواكب بطريقة ما.
- لم نصل بعد إلى فهم جيد، لا لمنطقة مصدر هذه الأقمار، ولا لآلية أسرها. فقد تكون الأقمار أتت من حزام كويبر الواقع وراء نبتون، أو من مناطق أقرب. وقد تتضمن عمليات أسرها تصادمات أو تفاعلات أخرى في منظومة شمسية أصغر سناً، وأكثر كثافة إزهاجاً بالأجسام.

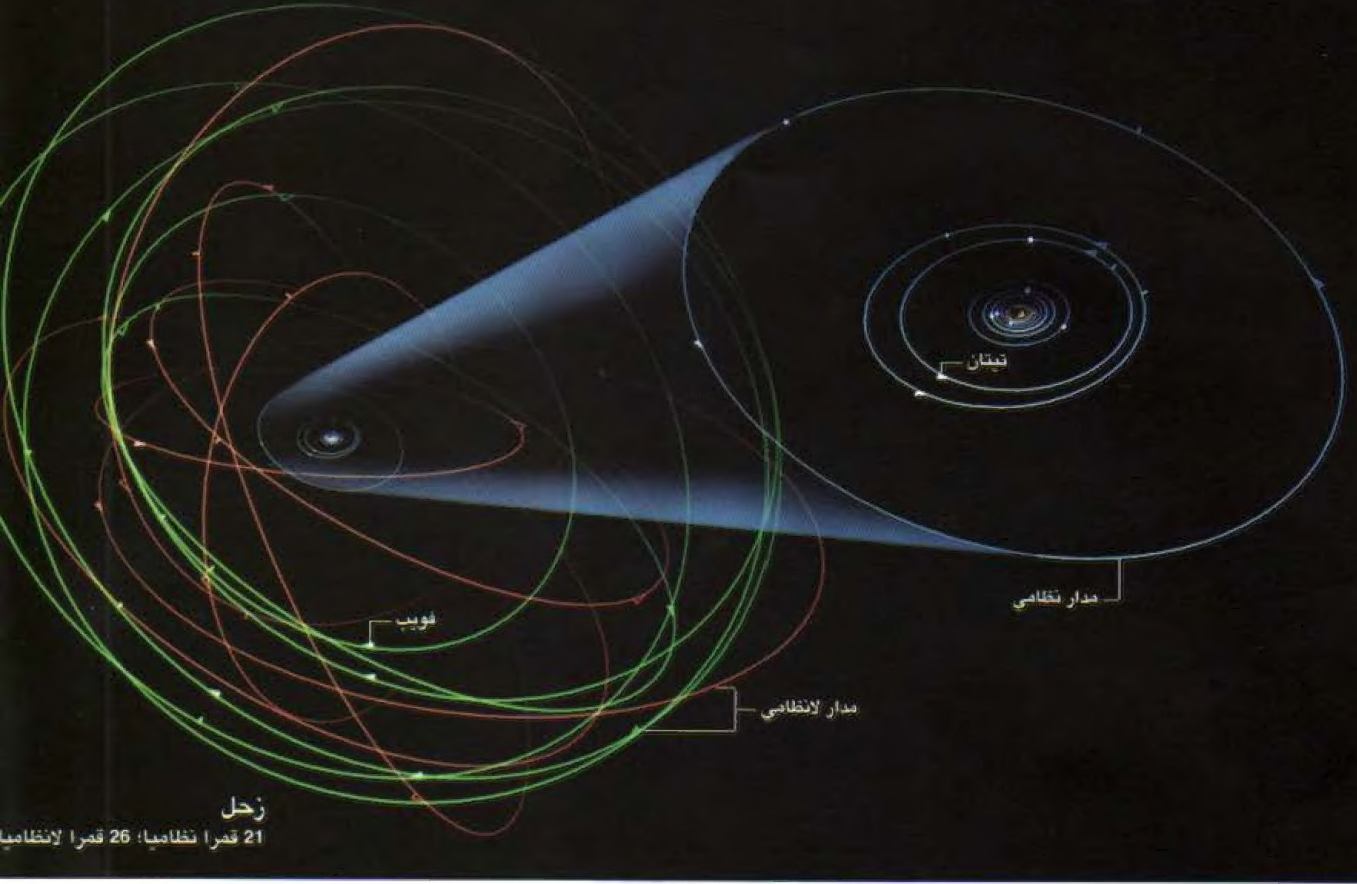
يشبه الجرم الجليدي «فويب» وهو أكبر اقمار
زحل اللامنتظمة، مذنباً اقتلع من مداره حول
الشمس. وقد سميت فوهاتة باسماء المغامرين
في الميثولوجيا (الاساطير) اليونانية: فكيها
الظاهرة في الأعلى هي جيسون Jason وإلى
يسارها مباشرة فوهة إرجينوس Erginus.
وتلك الظاهرة في الخلل على الحافة السفلى هي
فوهة أويليوس Oileus.



سرب من الأقمار^(١)

أوسع واتجاهات حركة متغايرة. فبعضها يدور بالاتجاه نفسه الذي يدور به زحل (اللون الأحمر)؛ وبعضها الآخر يسير بالاتجاه المعاكس (اللون الأخضر). وثمة أنظمة مشابهة من الأقمار تحيط بالكواكب العملاقة الأخرى (أقصى اليسار). وتعرض هذه المخططات اعتياداً sampling لعدد الأقمار الكلي.

كانت معرفتنا للمدى الكامل لنظام الأقمار حول زحل ضعيفة جداً، لكنها تغيرت في السنوات القليلة الماضية. فقد تبين أن هذه السوائل تنتمي إلى طائفتين كبيرتين: أقمار نظامية (اللون الأزرق) مثل تيتان ولابيتوس، التي لها مدارات صغيرة موجودة في مستو واحد، وأقمار لانظامية، مثل فوب، التي لها مدارات



ملبون كيلومتر عنه وهذه المسافة قريبة من نصف قطر المجال الثقالي للمشتري، أو كرة هل Hill sphere التي ما بعدها تختطف الشمس أي قمر طليق وإذا كان من الممكن للعين رؤية كرة هل، لكنت الزاوية التي نرى ضمنها هذه الكرة 10 درجات - وهي أكبر 20 مرة من القطر الراوي لقمر الأرض عندما يكون بداراً وهذا عدد هائل مقارنة بحقول رؤية معظم المقاريب

ويتطلب مسح مثل هذه المنطقة المتراصة الأطراف للأقمار استعمال أحدث المكاشيف detectors الرقمية وأكبرها، وإجراء تحليل يصل إلى 100 جيكايت من البيانات في الليلة [انظر الإطار في الصفحة 10] وفي البداية، تركّز المسح المسمى Hawaii Moon Survey

الموضوع. ويبدو أن هذه الأقمار منتجات لحقبة انقضت قبل وقت طويل، عندما بعثر السحب الثقالي للكواكب المكوّنة حديثاً - أو اختطف - أجساماً صغيرة من مداراتها الأصلية. وتعد دراسة هذه الأجسام بتبسيط الضوء على المراحل المبكرة لنشوء المنظومة الشمسية وتطورها

ومع أن أول قمر لانظامي جرى اكتشافه كان تريتون Triton، قمر نبتون، وذلك عام 1846، فلم يتيسر اكتشاف غيره من الأقمار اللانظامية إلا حديثاً. إذ يغلب عليها أن تكون أصغر. وأخفت نورا من نظائرها من الأقمار النظامية، يضاف إلى هذه المشكلة توزيعها على رقعة شاسعة جداً من الفضاء. فمثلاً، يبعد كاليستو Callisto، أبعد أقمار المشتري النظامية، 1.9 مليون كيلومتر عن المشتري، في حين تبعد أقماره اللانظامية المعروفة فربة 30

فإن قمراً يُرى من موقع فوق القطب الشمالي للأرض أنه يدور بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة - وهو الاتجاه نفسه الذي تدور به الأرض حول محورها وحول الشمس ويتحرك الكواكب الأخرى أيضاً بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة، وهذا نمط من الدوران يعكس الحركة الدوامية swirling لقرص الغاز والغبار، الذي يفترض أن تكون هذه الكواكب نشأت عنه قبل 4.5 بليون سنة وتشارك الأقمار النظامية كواكبها في اتجاه الحركة، لأن الفلكيين يظنون أنها تكونت من أقراص حول الكواكب المضيفة لذا فإن السلوك المخالف للأقمار اللانظامية إشارة إلى أنها من أصل مختلف.

لا يمكن تقديم وصف جيد لهذه الأجسام بنماذج مألوفة، لكن ثمة مجموعة من الأبحاث النظرية الطازجة ماضية قدما في دراسة هذا

(١) A Swarm of Moons
(١) gravitational tug

نراها في هذه الأيام، هي تلك التي نجت من التفاعلات التثاقلية التي قضت على كثير من أقمارها الشقيقة

ما زالت سمات أخرى للمدارات تتطلب عمليات خارج الثقالة، فالأقمار تنتمي إلى زمر، أو عائلات، متميزة، لكل منها مدارات متشابهة. وعلى سبيل المثال، فإن عدد أقمار كل من زمر المشتري يصل إلى 17 عنصرا ووضح تفسير لهذا هو أن عناصر زمرة ما هي قطع من أقمار كبيرة تحطمت نتيجة صدمة، وما زالت تواصل حركتها في مدار تلك الأقمار الكبيرة. وإذا كان الأمر كذلك، فإن كثيرا من الأقمار اللامنتظمة التي نراها اليوم هي جيل ثان لأقمار سابقة.

هذا وإن «D» نسقورني، [من مركز أبحاث ساوث وست في بولدر بكولورادو] ومعاونيه، تمذجوا بالتفصيل تمرق الأقمار إربا إربا نتيجة حوادث التصادم، ووجدوا أن من النادر في هذه الأيام أن يتصادم قمر بقمر آخر، أو بجسم بين كوكبي interplanetary، كان يكون مذنباً مثلاً. لذا فإن وجود زمر الأقمار يلحق إلى زمن بعيد كانت فيه مجموعة الأقمار اللامنتظمة أو مجموعة المذنبات (أو كليهما) أكبر مما هي عليه حالياً، كما كان تكرار التصادمات أكبر بكثير

لقد أنجز الفلكيون بعض التقدم في كشف خاصيات أخرى للأقمار اللامنتظمة، وذلك إضافة إلى تعلم أشياء جديدة عن مداراتها. فمعظم الأقمار خافتة الضوء إلى درجة لم تسمح للفلكيين إلا بمعرفة القليل جدا عن تركيبها. بيد أن «T» كراف [من CFA] و«T» ريتيك [من جامعة بوتردام] وجدوا أن الأقمار المنتمية إلى زمرة ما غالبا ما تكون ذات ألوان متشابهة واللون أحد مظاهر التركيب، لذا فإن هذا الاكتشاف يقتضي وجود تشابه في التركيب - وهذا يقدم مزيدا من الدعم إلى الفكرة القائلة بأن أقمار زمرة ما هي شظايا جسم أكبر ولّى وانقضى

أحد الأقمار اللامنتظمة القليلة، الذي يعرفه الفلكيون بالتفصيل، هو قمر زحل فوبيا Phoebe، الذي زارته في الشهر 2004/6 السفينة الفضائية كاسيني التي أطلقتها الوكالة ناسا. وقد حصلت كاسيني على صور ذات ميز عال جدا، بينت أن

Cosmic Polyrhythm
in synchrony

1 في التغير البطيء - في اتجاه محور دوران (التصوير)

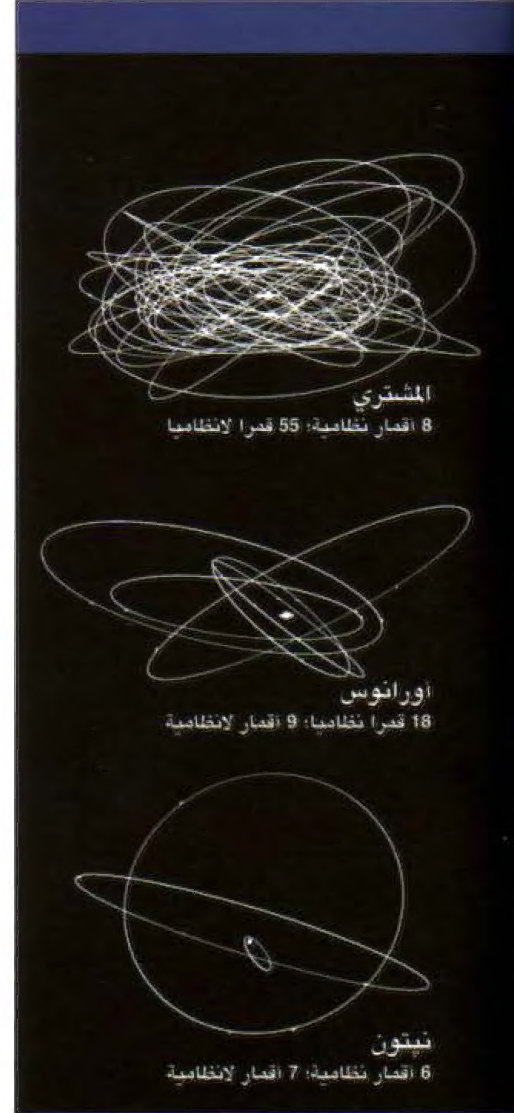
من كيلومتر واحد: وتشغل أجسامها مجالا واسعا من الحجوم، لكن لمعظمها حجوم صغيرة. وفي حالة المشتري، فإن قطر أكبر أقماره اللامنتظمة أي J6 Himalia، يساوي 180 كيلومترا تقريبا، وقطر أصغرها يساوي كيلومترا واحدا أو كيلومترين

إن مدارات هذه الأقمار من أكثر المدارات تعقيدا في المنظومة الشمسية، ولما كانت تطوف بعيدا جدا عن كواكبها المضيفة، فهي تُسحب من كلتا الثقالتين الكوكبية والشمسية، وهذا يجعل المحاور الكبرى لمداراتها الناقصية تدور بسرعة عالية، ما يجعل تمثيل مسارات هذه الأقمار بمنحنيات مغلقة غير دقيق. وبدلاً من ذلك، فإن الأقمار ترسم مسارات غريبة شبيهة بالأشكال التي تصنعها لعبة الأطفال spirograph.

إيقاع كوني متعدد

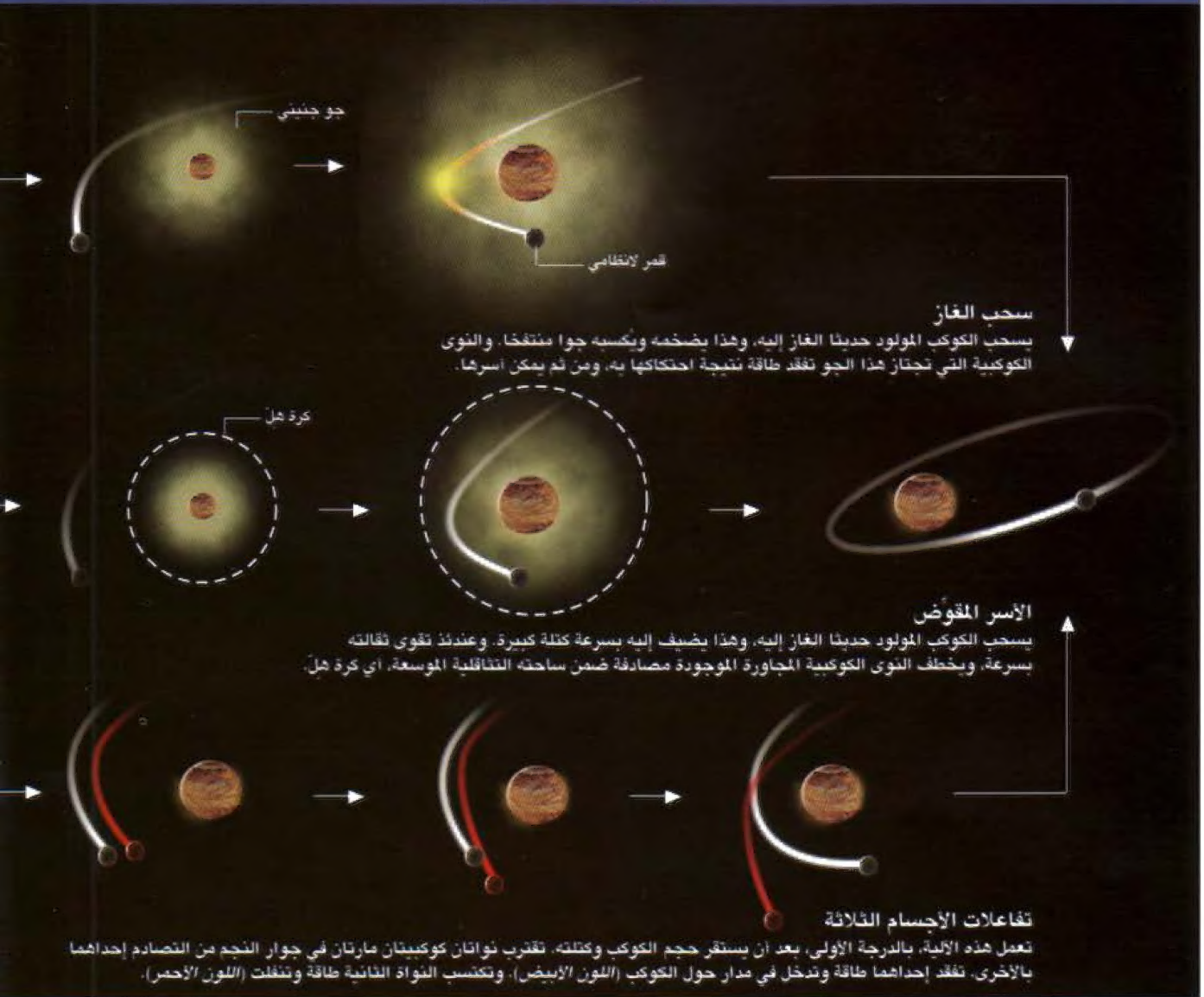
عندما تعمل بالتزامن التأثيرات المختلفة في الأقمار، يصبح الوضع معقدا جدا. فمثلا، إذا كان معدل المبادرة precession لقمر قريبا من معدل دوران كوكبه المضيف حول الشمس، قيل إن القمر في حالة تجاوب «نفاوتي» evection resonance. هذا وإن الآثار المتواضعة للثقالة الشمسية تتراكم مع الوقت، ما يجعل المدار غير مستقر، فيتطاوّل القطع الناقص إلى مدى يؤدي إلى اصطدام القمر بالكوكب (أو يأخذ أقماره الكبيرة)، أو إلى خروجه من كرة هل ووقوعه في الأحضان التثاقلية للشمس هذا وإن المدارات المتقدمة prograde أكثر عرصّة للتأذي من المدارات المتراجعة فإذا كانت الأقمار اللامنتظمة معرضة في الأصل لأن تكون متقدمة أو متراجعة باحتمالين متساويين، فإن التجاوب التفاوتي قد يفسر السبب في كون معظم الأقمار هي حاليا متراجعة

وشمة تجاوب آخر، يُعرف باسم تجاوب كوزاي Kozai resonance، يزاوج بين ميل المدار وشكله فالأقمار التي تُفرض عليها مدارات مائلة تتحول مداراتها إلى قطوع ناقصة ممحوظة، ويُحتمل أن يؤدي هذا ثانية إلى قذفها خارجا أو تدميرها وقد يكون هذا هو سبب عدم عبور الراصدين على أقمار ميولها تقع بين 50 و 130 درجة واختصارا نقول إنه يبدو أن الأقمار اللامنتظمة، التي



على المشتري، الذي يسمح قربه منا بسبر أقمار صغيرة نورها أخفت من أن يتمكن من اكتشافها لو كانت تدور حول كواكب عملاقة أخرى أبعد من المشتري. وقد بذلت فرق يقودها «B» كلادمان [من جامعة كولومبيا] و«M» هولمان [من مركز هارفرد السمبثسوني للفيزياء الفلكية CIA] و«I» كافيلارس [من مجلس الأبحاث الوطنية التابع لمعهد هيربيرك الكندي للفيزياء الفلكية] جهودا متوازية لمسح زحل وأورانوس ونبتون

وقد تبين أن لجميع هذه الكواكب العملاقة الأربعة، بصرف النظر عن كتلتها، منظومات من الأقمار اللامنتظمة. وتقدير استقرائي extrapolation مما اكتُشف حتى الآن، فإننا نقدر أن لكل من هذه الكواكب قرابة 100 قمر لانظامي، قطر كل منها أكبر



ثقلات الكواكب، تُجرّ الكويكبات والمذنبات روتينيا إلى مدارات قصيرة العمر حول الكواكب العملاقة وهذا الأسر الموقت شبيه بسحب أوراق الشجر إلى دوامة في يوم خريفي عاصف. فهذه الأوراق تدخل الدوامة وتدور في حركة دوامية ربما بضع عشرات من المرات، ثم تنفصل عنها بطريقة لا يمكن التنبؤ بها.

وكامثلة على هذا النمط من الأسر، نورد المذنب الشهير D/Shoemaker-Levy (D") هو الحرف الأول من "defunct"، أي «ميت»). الذي دخل في مدار مؤقت حول المشتري في وقت ما من القرن العشرين. ثم صدم هذا

How to Snag a Moon (١)
What a Drag (٢٢٢)

مستقر عليها وبهذا المعنى، تكون أقمار المشتري اللامنتظمة شديدة الشبه بالمذنبات التي فقدت مركباتها من المواد الطيارة

يا له من جرّ عنيف

توحي خاصيات الأقمار اللامنتظمة - وبخاصة مداراتها المتراجعة - أنها لم تتكون في الموقع الموجودة فيه وبدلا من ذلك، فلابد أن تكون من مخلفات عمليات تكوّن الكواكب، مثل الكويكبات والمذنبات، التي كانت في الأصل تدور حول الشمس، ثم أسرتها الكواكب بطريقة ما هذا وليس من السهل فهم كيف حدث ذلك ففي التفاعل المعقد بين

للغواصات التي تعلو سطح قريب وجودا كثيفا جدا إضافة إلى ذلك، سجلت السفينة أطراف ضوء الشمس المنعكس عن قويب، التي بين تحليلها وجود جلاتد من الماء وثنائي أكسيد الكربون ولقمري نيتون اللامنتظمين بيريد Nereid وترينون Triton، اللذين رصدتهما المسبار الفضائي فويجر 2، سطحان جليديان أيضا وتلمح هذه الجلاتد إلى أن هذه الأجرام تكونت على مسافات بعيدة نسبيا عن الشمس، مثل المذنبات أما أقمار المشتري اللامنتظمة فهي بسواد القار (الزفت)، وتبدو خالية من الجليد. وربما كان سبب ذلك كونها أقرب إلى الشمس، ومن ثم فهي أسخن من أن تسمح لوجود جليد

والاحتمال الأكبر هو أنهما تكونا عندما سحب جسم مركزي من الصخور والجليد. كتلته تعادل قرابة عشرة أميال كتلة الأرض. كميات هائلة من الغاز من القرص البدائي المحيط بالشمس الفتية. وقبل أن يتخذ الكوكبان شكليهما الحديثين المتراصين نسبيا، فربما مرّا بمرحلة انتفاخ عابرة، كانت الأجواء خلالها تمتد مسافات أكبر مئات المرات من امتداداتها الحالية.

وفي طريقة كولدبلوكس^(١) الحقيقية، لابد أن يكون كويكب أو مذنب عابر لقي واحدا من ثلاثة مصائر مختلفة يحددها حجمه فإن كان صغيرا جدا، احترق في الجو المنتفخ، مثلما يحدث للشهب وإن كان كبيرا جدا، شق طريقه من دون أن يعيقه شيء، وتابع سيره في مدار حول الشمس أما إذا كان معتدل الحجم، فإنه يتباطأ ويؤسر. وهذه العملية ماثلة تماما لإجراءات الكبح الهوائي، التي استعملها كثير من المسابير الكوكبية لدخولها في مدارات حول الكواكب.

تتمثل إحدى المشكلات التي يواجهها نموذج السحب الغازي gas drag في أنه لا يفسر وجود سواتل لامنتظمة حول أورانوس ونبتون. هذان الكوكبان ليسا عملاقين غازيين، إنهما عملاقان جليديان - تغشاهما الصخور والجليد وطبقتان خارجيتان رقيقتان نسبيا من الهيدروجين والهليوم. وبسبب بعدهما الشديد عن الشمس، والكثافة المادية المتخفضة في المناطق الخارجية من القرص المحيط بالشمس، فقد استغرق قلباهما زمتا أطول لبلوغ الكتلة الحرجة اللازمة لتعجيل حدوث انهيار غازي وقبل أن يحدث ذلك، كانت الغيمة السديمية الشمسية قد تبددت كثيرا، لذا لم يتيسر قط لأورانوس ونبتون جوان يحيطان بهما شبيهان بجوي المشتري وزحل. ترى، كيف يمكن للسحب الغازي العمل عند عدم توافر قدر كبير من الغاز؟

ويحدد الأسلوب الثاني أيضا أن وقت الأسر حدث خلال مرحلة نمو الكواكب فلا بد أن يكون تنامي الغاز على قلوب العمالقة الغازية جعل كتلتها تتعاظم في عملية دعم ذاتي، وهذا يؤدي إلى زيادة مفاجئة في حجم كرة هل حول كل كويكب ور الكويكبات، وغيرها من الأجسام الأخرى التي جانبها الحط لكونها قريبة في لحظة

Goldilocks (١)



تشير الخصائص المدارية الغريبة للأقمار اللامنتظمة إلى أنها نشأت في مدارات حول الشمس، ثم أسرتها الكواكب المضيفة الحالية في وقت لاحق. وقد اقترح العلماء ثلاث

المرحلة الأولية في هذه الآليات الثلاث جميعها هي تكون أجسام بحجم الكويكبات، تسمى نوى كوكبية. ويتجمع كثير من هذه النوى لتكوين القلوب الصخرية للكواكب العملاقة. وتبقى مخلفاتها معرضة للأسر.

للمنظومة الشمسية فيه خاصيات مختلفة وفي السبعينات من القرن الماضي، اقترح المنظرون ثلاث آليات محتملة تعمل جميعها خلال حقبة تكون الكواكب أو بعدها مباشرة. أما الآلية الأولى، التي اقترحها > J 1< بولاك، و> A 1< بيرنز> [الذنان كانا حينذاك يعملان في مركز أبحاث إيمز التابع للوكالة ناسا] و> E M< توير> [من جامعة كورنل] فتذهب إلى أن الأقمار فقدت طاقة بفعل الاحتكاك الذي حدث لها خلال عبورها الأجواء الشاسعة للكواكب البدائية العملاقة الغازية، فالمشتري وزحل، خلافا للأرض والكواكب الأرضية الأخرى، مكونان، في المقام الأول، من الهيدروجين والهليوم.

الكويكب عام 1994 ولو لم يحدث له موت في غير أوانه، لُقِّدَ هذا المذنب بعيدا ليدخل في مدار حول الشمس خلال بضعة مئات من السنين. ويعرف الفلكيون عدة أجسام أسرها المشتري مؤقّتا، ثم عادت لتدور حول الشمس لكن لكي يتعرض جسم يسبح في مدار حول الشمس لأسر دائم في مدار مستقر حول كويكب ما، لابد من أن يفقد بعض طاقاته الإبتدائية، من أجل ذلك، يتعين إبطاء سرعة الجسم لمنعه من الإفلات ثانية من الكويكب هذا ولا وجود لأي عملية فعّالة لتبديد الطاقة في المنظومة الشمسية حاليا. لذا فإن أسر الأرض للقمر لابد أن يكون حدث قبل زمن طويل جدا، في وقت كان

راصدو السماء^(*)



ثقب ضوئي صغير متحرك: اكتشف سائل المشتري J14 S/2003 في 2003/2/26 في هاتين الصورتين اللتين يفصل بين وقتي اخذهما 39 دقيقة. والأجسام الأخرى هي نجوم الخلفية. ولهذا القمر، الذي يُظن أن قطره كيلومتران تقريبا، مدار يبعد 13 مليون كيلومتر عن كوكبه العملاق.

لما كانت الأقمار اللامنتظمة سريعة الاندفاع وصغيرة جدا وخافتة الضوء، فإنها تقع ضمن أصعب الأجسام رسدا في النظام الشمسي، ويتطلب العثور عليها أقوى مقاريب المسح في العالم - أي آلات تسمح بمناطق واسعة من السماء، بدلا من الآلات التي تركز على بقاع منفردة محدودة. وقد توصل فريقنا إلى معظم اكتشافاته باستعمال المقراب Canada-France-Hawaii Telescope والمقراب Subaru Telescope المقام على جبل ماوناكيا بجزر هاواي. وهذان المقربان مجهزان بمكاشيف رقمية لكل منها أكثر من 100 مليون بكسل.

والمسألة المركزية هي تمييز الأجسام في المنظومة الشمسية عن النجوم والمجرات البعيدة. لهذا يستعمل الراصدون طريقتين، تعني أولاهما بقياس المسافة. ونحن نقارن ثلاث صور أخذت للرقعة السماوية نفسها بحيث تفصل بين الصور فترة زمنية معينة. وخلال تلك الفترة، تقطع الأرض جزءا من مسارها حول الشمس، ما يجعل الأجسام تبدو أنها انزاحت من موقعها، وكلما كان الجسم أقرب، ازداد ظهور حركته.

وتتضمن الطريقة الثانية قياسا للسرعة. وهنا نأخذ عشرات الصور لأحد الحقول، وتعالجها استنادا إلى السرعة المتوقعة المدارية للأقمار اللامنتظمة التي نبحث عنها، ثم نجمعها معا. وفي هذه الصورة المجمعة، تبدو نجوم الخلفية كعلامات خطية ضوئية، أما الأقمار اللامنتظمة فتبدو نقاطا ساطعة.

ويسبب استعمال هذه الطريقة عددا كبيرا من الصور لبقعة معينة من السماء، فهي أشد حساسية للأجسام الخافتة النور من الطريقة الأولى، لكنها تستغرق وقتا أطول لإجراء مسح كامل، وبغية التوثق من أن الأجسام هي أقمار لا كويكبات أو مذنبات، فنحن نراقبها عدة أشهر، ونعمل مع «B. مارسدن» من CIA للتحقق من أنها تدور حول كواكبها.



لمسح بقاع شاسعة من السماء، يُستعمل واحد من أفضل المكاشيف هو Subaru Prime Focus Camera، وهو مجموعة مكونة من 10 شبيبات CCD لكل منها ثمانية ميكابكسل.

السنوات الخمس والثلاثين الماضية، وربما كان ذلك يعود إلى الندرة الشديدة لهذه الاصطدامات حاليا.

بيد أن ثمة أبحاثا أحدث تبين أن لا ضرورة لحدوث اصطدامات، فلا تحتاج الأجسام الثلاثة إلا إلى أن تتفاعل ثقافيا. فإذا تبادلت طاقة فيما بينها، أمكن لأحدها كسب طاقة على حساب الجسمين الآخرين. وهذه العملية هي نموذج مضخم لمفعول القلاع الثقافلي، الذي يستعمله مخطوط البعثات الفضائية لتقوية دفع المسابير إلى أعماق الفضاء. وفي الشهر 2006/5، اقترح «C. أكنور» [من جامعة كاليفورنيا بسانتا كروز] و«D. هاملتون» [من جامعة ماريلند] صيغة أخرى لأسر الأجسام الثلاثة، مفادها أن جسما ثانيا ينقسم إلى قسمين بفعل ثقالة كوكب، وهذا يؤدي إلى قذف أحدهما بعيدا، وسحب الآخر ليسير في مدار حول الكوكب.

Watchers of the Skies (*)

بديل لتكون أورانوس ونبتون اقترحه «A. بوس» [من معهد كارنيكي بواشنطن] هو أنهما ابتدا بضخامة المشتري وزحل، ثم تضاءلا تدريجيا بواسطة إشعاع مؤين من نجوم ضخمة قريبة. أما الأقمار اللانظامية ففهمها أصعب في هذا النموذج، لأن الكوكب الذي يتقلص غالبا ما يفقد أقماره بدلا من اختطافها.

وفي نموذجي السحب الغازي والأسر المقوض كليهما، جرى استحواذ أقمار لانظامية في مرحلة مبكرة من تاريخ المنظومة الشمسية، وربما كان ذلك قبل وصول الأرض إلى جسم يمكن تمييزه من غيرد. وقد اقترح سيناريو ثالث مغاير جدا عام 1971 من قبل «B. كولمو» و«I. فرانكلين» [الذين كانا يعملان حينذاك في CfA]. فقد ذهبوا إلى أن الاصطدامات بين جسمين في كرة هل لكوكب ما، يمكن أن تبدد قدرا من الطاقة، وهذا يؤدي إلى أسر أحدهما. وقد لاقت هذه الفكرة، التي سميت أسر الأجسام الثلاثة three-body capture، اهتماما قليلا نسبيا في

هذا النموذج الجاري بسرعة خاطفة، لابد أن تكون وجدت نفسها واقعة في شرك المد الواسع السريع لثقالة الكواكب. وكان أول من طرح فكرة آلية الأسر هذه «A. T. هيبنهايمر» و«C. بوركو» [الذان كانا حينذاك في المعهد MIT] وقد أطلقا على الآلية اسما، محيرا إلى حد ما، هو الأسر المقوض pull-down capture.

بيد أن لهذه الآلية، كما هي الحال في السحب الغازي، مشكلة في تعليل الأقمار حول أورانوس ونبتون، اللذين لم يتعرض أي منهما لنمو سريع جدا في كتلته وتشير معظم النماذج إلى أن هذين الكوكبين تناميا ببطء عن طريق تجميعهما لأجسام بحجم الكويكبات والمذنبات خلال زمن ربما يستغرق عشرات أو مئات من ملايين السنين لبلوغ كتلتيهما الحاليتين. وحتى المشتري وزحل، فقد تعين عليهما التنامي خلال آلاف السنين لجعل عملية الأسر المقوض ناجحة، لكن كثيرا من المنذجين متضابقون من مثل هذا الزمن القصير للتنامي وثمة نموذج



لقد أربك نيرتون، قمر نيتون وأكبر قمر لامنتظم. العلماء منذ اكتشافه عام 1846 ويذهب بحث جديد إلى أنه كان، مع رفيق له، يدوران حول الشمس قريبين أحدهما من الآخر، وكانهما منعانقان. إلى أن فصل نيتون بينهما، واحتفظ بتريتون قمرا له.

لجميع الكواكب الخارجية الأربعة، نوحى بأنها نشأت نتيجة تفاعلات الأجسام الثلاثة، وهي الآلية الوحيدة المعروفة التي فاعليتها في نيتون تعادل تقريبا فاعليتها في المشتري وكما تساعدنا علامات الانزلاق، التي ترسم على طريق بعد حادث سير، على تعرف كيفية حصول الحادث، فإن الأقمار اللامنتظمة، التي تطوف حول الكواكب العملاقة، ترونا بمفاتيح لحل ألغاز تتعلق بأحداث سابقة لم يتسن لنا قط رصدها مباشرة ■

Planetary Movements

لتلك الاهتزازات، وظلت طليقة وراء نيتون في حزام كويبر [انظر: حزام كويبر، العلوم، العددان 12/11 (1996)، ص 52]

ولابد أن تصبح القياسات الطيفية قادرة في يوم من الأيام على اختبار هاتين الفرضيتين فإذا كان للأقمار اللامنتظمة للكواكب المختلفة تراكيب مختلفة، كان هذا دعما للفرضية الأولى، التي تكونت بموجبها الأقمار قرب كواكبها المضيفة أما إذا كان لها تراكيب متشابهة، فإن هذا يقدم حجة على صحة الفرضية الثانية، التي تذهب إلى أن جميع الأقمار تكونت معا ثم تشتت. وهكذا فالأقمار يمكن أن تُبين ما إذا كانت المنظومة الشمسية قد خضعت لإعادة ترتيب عنيف إن استكشاف أنظمة الأقمار اللامنتظمة مازال جاريا على قدم وساق وثمة شيئين واضحا: أولهما أن أسر هذه الأقمار لابد أن يكون قد حدث في وقت مبكر من تاريخ المنظومة الشمسية، إما خلال عملية التكون الكوكبي، وإما عقب تكون المنظومة مباشرة. هذا ولا تقدم المنظومة الشمسية الحديثة الية ملائمة يؤدي عملها إلى أسر الأقمار. وثانيهما أن التشابهات القائمة بين مجموعات الأقمار اللامنتظمة

حركات كوكبية

قد تكون الية الأسر في الأجسام مثيرة في ضوء الاكتشاف الجديد، الذي يبين أن لجميع الكواكب العملاقة الأربعة تراجع من الأقمار اللامنتظمة. وتنتج هذه الآلية في كل من العملاقة الغازية gas giants والعملاقة الجليدية. وهي لا تتطلب غلظا ضخما أو تناميا سريعا جدا للكواكب، وكل ما هي بحاجة إليه، عدد كاف من التصادمات التي تحدث قريبا من الكواكب وربما كانت هذه الأنماط من التفاعلات هي الكبرى احتمالا قرب نهاية حقبة التكون الكوكبي. بعد أن تكون كرات هِلْ قد نمت لتصل إلى حجمها الحالية، لكن قبل زوال الحطام المتخلف عن تكون الكواكب. وقد تكون الية أسر الأجسام الثلاثة قادرة على تفسير سبب امتلاك كل كوكب العدد نفسه من الأقمار اللامنتظمة فمع أن أورانوس ونيتون أقل ضخامة من المشتري وزحل، فإنهما أبعد عن الشمس، ومن ثم فإن حجمي كرتي هِلْ التابعتين لهما متقاربان.

وحتى لو فسرت تفاعلات الأجسام الثلاثة كيفية أسر الأقمار اللامنتظمة، فمن أين أتت هذه الأقمار؟ هنا قدم الباحثون احتمالين مختلفين. فقد تكون هذه الأقمار كويكبات ومذنبات تكتلت في المنطقة نفسها من النظام الشمسي التي يقع فيها الكوكب الذي اختطفها في نهاية المطاف، والتي إما اندمجت في أجسام الكواكب، أو أسرتها المنظومة الشمسية. وكانت الأقمار اللامنتظمة محظوظة. لأنها لم تلتهم، ولم ترسل للطواف في الفضاء الواقع بين النجوم

وثمة احتمال آخر يبرز من نموذج حديث ظلت بموجبه المنظومة الشمسية مليئة بالحطام طوال قرابة 700 مليون سنة بعد تكون الكواكب وإذا ذاك أحدثت التفاعلات الثقالية gravitational interactions بين المشتري وزحل اهتزازات زلزلت المنظومة كلها. وقد تبعثرت بلايين من الكويكبات والمذنبات، عندما اندفعت الكواكب الكبيرة إلى مداراتها الحالية التي هي أكثر استقرارا ومن المحتمل أن يكون جزء من الأجسام المبعثرة قد أُسر وفي هذا السيناريو، الذي اقترحه عام 2005 «ك. تسيكانس» وزملاؤه [من مرصد كوت داوور] تكون معظم الأجسام التي تعرضت

المؤلفون

David Jewitt - Scott S. Sheppard - Jan Kleyna

هم أغزر الباحثين العلميين في العالم إلتاحا في مجال اكتشاف الأقمار الكوكبية. وقد بدأت اهتمامات «حيويت» بعلم الفلك عندما كان في السابعة من عمره. حين أصيب بالدهشة لما رأى وأبلا من السهب في سما. المنطقة الصناعية شمال لندن المصانة بمصاييح الصوديوم. وهو حاليا أستاذ في جامعة هاواي وزميل أكاديمية العلوم الوطنية. أما «شيبارد» الذي كان يشرف عليه «حيويت» عندما كان يتابع دراساته العليا، فقد أصبح حديثا، بعد حصوله على الدكتوراه، عضوا في قسم الغنطيسية الأرضية بمعهد كاريبيكي في واشنطن. وقد ترعرع «كلينا» في مزرعة بولاية مين، وهو من هواة فن سينمائي غير مفهوم يسمى an-house، ويجري حاليا أبحاث ما بعد الدكتوراه في جامعة هاواي، حيث تتركز دراساته على المادة الغامضة dark matter والمجرات القزمة dwarf galaxies

مراجع للاستزادة

- The Discovery of Faint Irregular Satellites of Uranus. J. J. Kavelaars et al. in *Icarus*, Vol. 169, No. 2, pages 474-481, June 2004.
- Discovery of Five Irregular Moons of Neptune. Matthew J. Holman et al. in *Nature*, Vol. 430, pages 865-867, August 19, 2004.
- Photometry of Irregular Satellites of Uranus and Neptune. Tommy Grav, Matthew J. Holman and Wesley C. Fraser in *Astrophysical Journal*, Vol. 613, No. 1, pages L77-L80, September 2004. Available online at arxiv.org/abs/astro-ph/0405605
- Irregular Satellites in the Context of Giant Planet Formation. David Jewitt and Scott Sheppard in *Space Science Reviews*, Vol. 116, Nos. 1-2, pages 441-456, January 2005.
- Cassini Imaging Science: Initial Results on Phoebe and Iapetus. C. C. Porco et al. in *Science*, Vol. 307, pages 1237-1242, February 25, 2005
- Neptune's Capture of Its Moon Triton in a Binary-Planet Gravitational Encounter. Craig B. Agnor and Douglas P. Hamilton in *Nature*, Vol. 441, pages 192-194, May 11, 2006.
- Hawaii Irregular Satellite Survey Web site: www.ifa.hawaii.edu/~jewitt/irregulars.html

Scientific American, August 2006

ما يثير الاستغراب عند المشبك المناعي

تكشف صور الخلايا المناعية أثناء التفاعل فيما بينها، عن وجود روابط بنيوية تشبه تلك التي تستخدمها العصبونات للاتصال فيما بينها. وتقدم دراسة هذه المشابك استبصارات جديدة عن كيفية قيام الخلايا المناعية بتكوين شبكة لتبادل المعلومات فيما بينها من أجل مقاومة الأمراض.

<M.D. بيثين>

أمورا - مثل التفكير في فكرة ما، أو الإحساس بلحمة ما، واكتشاف فيروس ما في مجرى الدم - تتطلب جميعها اهتزازات (رقصات) مماثلة للجزيئات، فإن هذا الإدراك قد زودنا بإطار جديد لفهم المناعة

بحث عن اتجاه

منذ وقت طويل وقبل رؤية المشبك المناعي، كان واضحا احتمال أن تقدر الخلايا المناعية على تحقيق الاتصال فيما بينها فقد عرف العلماء أن الخلايا المناعية تفرز جزيئات بروتينية تسمى السيتوكينات لتبادل المعلومات فيما بينها، ومع أنماط أخرى من الخلايا. ولكن بعض تلك الجزيئات على الأقل لا يعمل على ما يبدو كهرمونات تنتشر في أرجاء الجسم المختلفة بأثر رسائلها على نطاق واسع. وبخلاف ذلك فإن السيتوكينات لا تكتشف في الدم، ويبدو أن عملها يقتصر على الخلايا المتماصة فقط وهذه القدرة على تبادل الإشارات الكيميائية مع خلية مجاورة محددة فقط دون غيرها أمر مهم بالنسبة للخلايا المناعية فبحلاف العصبونات التي تميل إلى تكوين نقاط اتصال ثابتة وطويلة الأمد مع الخلايا الأخرى. تقيم الخلايا المناعية مع غيرها

العصبي، فإن نقاط التماس بين الخلايا المناعية اشتملت على تكديسات مرتبة من البروتينات. وكان واضحا للعيان وجود أطواق من الجزيئات تقي على الخلايا ملتصق بعضها ببعض، وكذلك وجود عناقيد داخلية من البروتينات المتفاعل بعضها مع بعض وتخصص التمازج بين الخلايا لقد سبق قبل الآن طرح فكرة أن الخلايا المناعية التي يجب أن تتبادل المعلومات فيما بينها وتخزنها أثناء سيرها للبحث عن المرض والاستجابة له، ربما تشترك مع الموصلات الشديدة البراعة - ألا وهي خلايا الجهاز العصبي - في بعض الآليات ولكن هنا أقيم الدليل الذي يثبت وجود التراكيب التي تتفق مع النظرية وما إن فرغ «كوبفر» من عرضه حتى دوت القاعة بتصفيق مطول تبعه وابل من الأسئلة وبعد ذلك بعقد من الزمن لاتزال هذه المشابك التركيبية التي تكونها الخلايا المناعية تثير أسئلة حول الكيفية التي تنتج بها الآلة الخلوية أو غيرها من القوى البناني المتشبيكي، ومن ثم الكيفية التي يتسنى بها للبنان المشبكي بدوره أن ينظم الاتصال بين خلية وأخرى وكذلك كيف يمكن أن يؤدي حله الوظيفي إلى الإصابة بالمرض. وحتى كيف يمكن للمرض أن تستغل تلك الآلية لصالحها

لقد أمكن اكتشاف المشبك المناعي وأمكن متابعة استكشافه بفصل التقنيات المجهرية ذات الميز العالي وتحسن طرق التصوير القديمة باستعمال الحاسوب ولما كنا نذكرنا

يعرف هواة الكتب الهزلية جيدا أن أكثر الطبقات توزيعا ورواجا هي تلك التي يظهر فيها أول مرة بطل خارق فائق القدرات فعلى سبيل المثال، بيع حديثا في المزاد العلني الكتاب الهزلي الذي نشر في عام 1962 وظهر فيه الرجل العنكبوت أول مرة، بمبلغ 122 000 دولار أمريكي. ومن المحزن ألا تزال - في العادة - المطبوعات التي تعلن ظهور حقيقة علمية مهمة أول مرة اثمانا مماثلة، مع أن هذه المطبوعات الرائدة لها قيمة عظيمة لدى العلماء، حيث تثير في نفوسهم قدرا كبيرا من الإعزاز والتقدير وقد كانت هناك لحظة مماثلة عام 1995 عندما وقف «A.L. كوبفر» [من المركز الطبي والبحثي اليهودي الوطني في دنفر] أمام بضع مئات من علماء المناعة الذي كانوا قد تجمعوا في واحدة من ندوات كيستون القيمة التي تحمل اسم هذا المنتج الخاص بالترحلق على الجليد بالولايات المتحدة الأمريكية وقد تضمن عرض «كوبفر» أول صورة ثلاثية الأبعاد لخلايا مناعية تتفاعل فيما بينها وشاهد المجتمعون في صمت مذهل ما عرضه «كوبفر» صورة تلو أخرى لبروتينات انتظمت على هيئة عين الثور عند نقط التماس بين الخلايا

وقد استوعب الحاضرون هذه الصور في الحال من دون أي التباس على شاكلة المشابك التي تكون نقاط الاتصال الحرجة بين العصبونات في شبكات الاتصال

INTRIGUE AT THE IMMUNE SYNAPSE (١١)

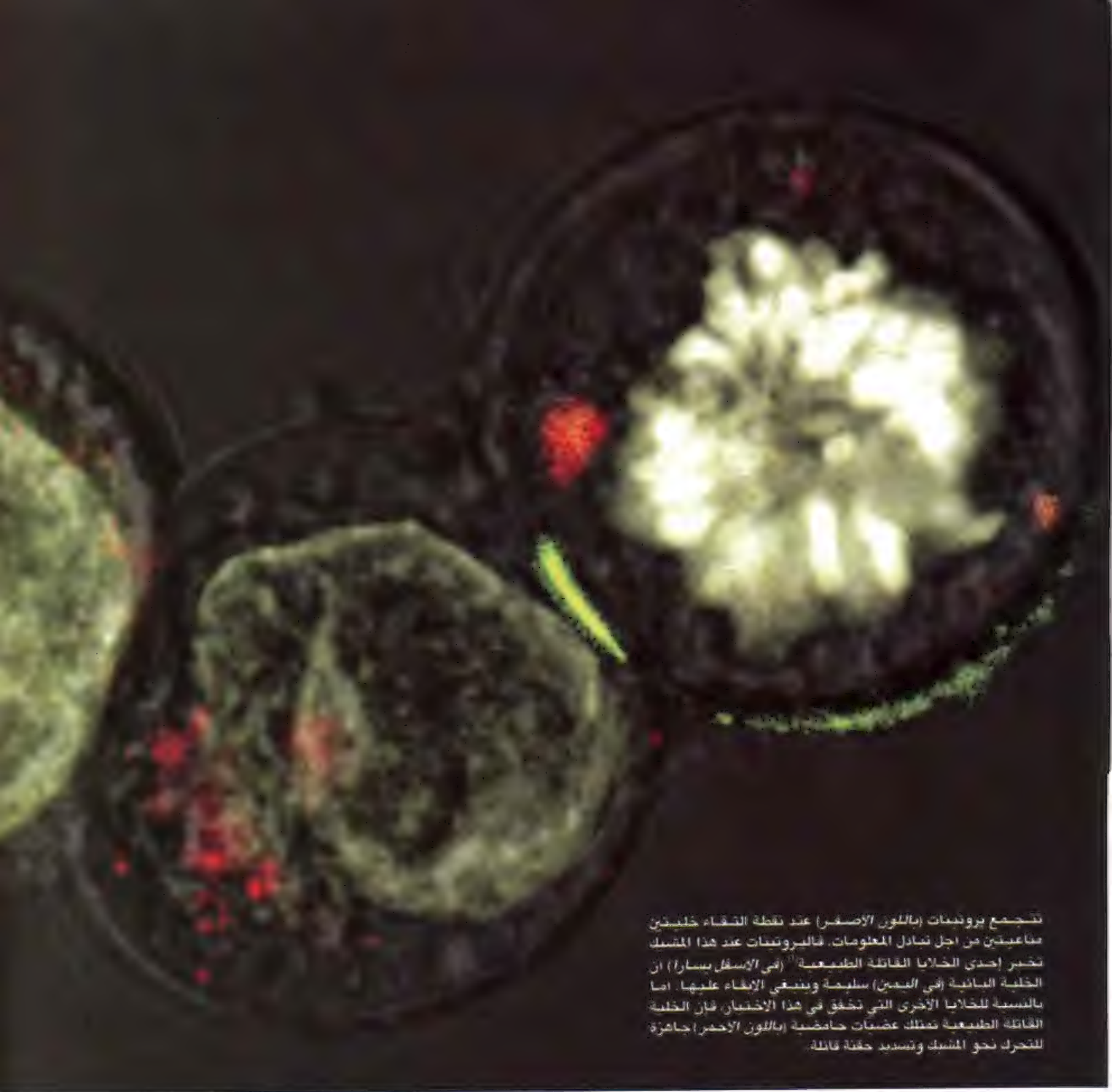
Seeking Direction (١٢)

Connections أو وصلات (١٣)

Synapses. انظر شرح الشكل في الصفحة ١٥

high-resolution microscopy techniques (١٤)

choreography (١٥)



تتجمع بروتينات (باللون الأصفر) عند نقطة التقاء خليتين مناعيتين من أجل تبادل المعلومات. فالبروتينات عند هذا المشبك تخبر إحدى الخلايا الفاتلة الطبيعية⁽¹⁾ (في الأسفل يساراً) أن الخلية البائية (في اليمين) سليمة وينبغي الإبقاء عليها. أما بالنسبة للخلايا الأخرى التي تخفق في هذا الاختبار، فإن الخلية الفاتلة الطبيعية تمتلك عضيات حامضية (باللون الأحمر) جاهزة للتحرك نحو المشبك وتسييد حقنة قاتلة.

الحوارات، ولكن أيضاً بكيفية تفاعلها لتتمكن من اتخاذ مثل تلك القرارات الحاسمة. في أوائل ثمانينات القرن الماضي، شرح العلماء في مختبر علم المناعة التابع للمعاهد الوطنية للصحة في الولايات المتحدة فكرة وجود سطح بنيوي فاصل يمكن للخلايا المناعية من توجيه ما تفرزه سيتوكينات إلى خلية أخرى، ولما كانت الأغشية الخلوية - المكوّنة إلى حد كبير من جزيئات دهنية

natural killer (NK) cell (١)

استدعاء لجنود مناعيين آخرين للحضور وإتمام المهمة. وقد يؤدي خطأ في الاتصال إلى جعل الخلايا المناعية تقتل خلايا سليمة بطريق الخطأ، مثلما يحدث في أمراض المناعة الذاتية ومنها داء التصليب المتعدد، أو قد يؤدي إلى السماح للخلايا السرطانية بالاستمرار في النمو والتكاثر من دون ضابط. ولذلك فإن علماء المناعة لديهم اهتمام شديد. ليس فقط باكتشاف ما هي الجزيئات المشتركة في هذه

تماسات سريعة الزوال أثناء تجوالها الدؤوب في الجسم بحثاً عن علامات للمرض وتبادلاً للمعلومات حول الأخطار الراهنة فحينما تصادف خلية مناعية ما مكلفة بتعرّف المرض خلية أخرى، فقد لا يكون أمامها سوى دقيقتين لتقرير فيما إذا كانت هذه الخلية المستهدفة سليمة أو لا. فإذا كانت غير سليمة فقد تلجأ الخلية المناعية - بحسب نوعها - إلى قتل الخلية المريضة مباشرة، أو إلى إطلاق إنذار

ويروتينية - هي أغشية سائلة، فإن البروتينات يمكنها بالتاكيد أن تتحرك بسهولة إلى نقطة التماس بين خليتين لتكوّن بنية منتظما هناك على غرار ما يحدث عندما تنشئ العصبونات وصلة مع خلية أخرى

لقد اثبتت فرضية مجموعة المعاهد الوطنية للصحة نتيجة تجارب حاسمة اظهرت أن تكاثر وتعتقد بعض البروتينات النوعية معا عند سطح الخلايا المناعية المسماة الخلايا الثانية كإن كافي ليثير تنشيط تلك الخلايا وهي نشرة علمية ظهرت في عام 1984، بين A.M. نوركروس [أحد باحثي المعاهد الوطنية للصحة] أول مرة

الخلايا الثانية بإضافة أحد المنيهات إلى المحلول الموجود على أحد جانبي الغشاء فقط فبدأت تلك الخلايا بإفراز بروتينات نحو مصدر المنبه وليس نحو المحلول الخالي من المنبه على الجانب الآخر من الغشاء

وفي عام 1994، شجعت هذه الملاحظة الأساسية A.W. بول و A.R. سيدر [الباحثين في المعاهد الوطنية للصحة] على إحياء فكرة كون المشبك المناعي رابط اتصال بين الخلايا المناعية وغيرها من الخلايا. وقد وصفا هذا المشبك بأنه سطحان خلويان متقاربان تقاربا وثيقا ومزودان بتنظيم مرتب

الفيروسات على سبيل المثال ثم عرض شذف (كسرات) هذه البروتينات على الخلايا الثانية، التي تنشط بدورها حينما تتعرف أحد المستضدات ومن ثم أطلق «كوبفر» مصطلح عناقيد التنشيط فوق الجزيئية على الجزيئات البروتينية ذات نسق عين الثور التي تتكون عند السطح الفاصل للخليتين

وكذلك أجرى M. دستي و P. ألين و A. شو [من كلية طب جامعة واشنطن في سانت لويس] ومعهم M. ديفر [من جامعة استانفورد] كل على حدة، تصويرا لظاهرة تنشيط الخلية الثانية ولكن بوسيلة مثيرة

وأخيرا، وجدت تراكيب توافق النظرية.

بشكل رسمي إمكانية أن يكون للجهازين العصبي والمناعي آلية مشتركة للاتصال من خلال المشابك ولكن لسوء الحظ ظهرت هذه النشرة العلمية في مجلة غير مقروءة على نطاق واسع، وحُذف منها بعض التفاصيل، ولذلك سرعان ما تعرض ذلك النموذج المشبكي المبكر للاتصال بين الخلايا للنسيان. ومع هذا بقي الفضول وحسب الاستطلاع فيما يتعلق بإمكانية أن توجه الخلايا الثانية رسائل من عدمه وكيفية قيامها بذلك.

وفي عام 1988 أجرى الراسل A.Ch. جانواي، جونير، وزملاؤه [في جامعة ييل] تجربة جميلة تؤكد أن الخلايا المناعية يمكنها بالفعل أن تفرز البروتينات في اتجاه معين. فقد قاموا بتثبيت بعض الخلايا الثانية تثبيثا محكما داخل مسام غشاء، يوجد في فجوة تحتوي على محلول وتقسماها إلى جزأين، ثم قاموا بتنشيط

مكون من مستقبلات بروتينية على سطح إحدى الخليتين يقابلها على سطح الخلية الأخرى الملازمة لها التركيب المربوط معها ولما كانت الخلايا المناعية تتجول أكثر من العصبونات بكثير، فقد تحدث «بول» عن المشبك المناعي على أنه اتحاد «وصل وقطع» على النقيض من حال الروابط (الوصلات) العصبونية الطويلة الأمد

وهكذا في منتصف التسعينات من القرن الماضي استقر مفهوم المشبك المناعي كتحور مثير، ولكن مارالت هناك حاجة إلى رؤيته عن طريق التجارب كتركيب حي. وبعد ذلك عرض «A. كوبفر» مجموعة شرائحه في دوة كيستون، حيث اظهرت صوره التفاعلات بين خلايا مناعية تسمى الخلايا العارضة (المقدمة) للمستضد والتي تخصصت في تقليب بروتينات العنصر المعتدي، مثل

للاهتمام. فبدلا من مراقبة خليتين متفاعلتين معا، لجؤوا إلى الاستعاضة عن الخلية العارضة للمستضد بغشاء، بديل مؤلف من جريئات دهنية مستخلصة من خلية حقيقية جرى تسطيحها على شريحة زجاجية؛ ثم أضافوا إلى هذا الغشاء، الدهني المسنود إلى الزجاج البروتينات الرئيسية الموجودة عادة على سطح الخلايا العارضة للمستضد والتي صُنغ كل منها بصيغ متآلف مختلف اللون؛ ثم قاموا بعد ذلك بمراقبة تنظيم هذه البروتينات الموسومة أثناء هبوط الخلايا الثابتة على الغشاء، (انظر الشكل العلوي في الصفحة 16)

وكذلك شاهدت مجموعة «داسن» ظهور نسق البروتينات على شكل عين الثور حينما كانت الخلايا الثانية تقوم بمعاينة للبروتينات داخل الغشاء المسنود على الزجاج، وكان من الواضح أن المشبك البنيوي لم يكن يتطلب تضافر جهود خليتين، وإنما يمكنه أن يتكون وإحدى الخلايا المناعية تماس مع مجموعة صناعية من البروتينات وتستجيب لها

وقد كشف هذا العمل أيضا أن المشبك نفسه يتصف بالديناميكية - يتغير ترتيب البروتينات مع استمرار الاتصال بين

نظرة إجمالية/ الحوان المنسق

- كشفت صور المجهر العالي الميز لخلايا مناعية وهي تتلامس مع خلايا أخرى عن وجود تراكيب غشائية مؤقتة شبيهة بالروابط (الوصلات) المشبكية التي تقيمها الخلايا العصبية بعضها مع بعض للاتصال فيما بينها.
- إن الاستقصاءات لهذه المشابك الخلوية المناعية تركز على الآليات التي يمكن أن تتحكم في هينتها وكيفية تعديلها للاتصال بين الخلايا.
- تعد مشاهدة التفاعلات بين الخلايا المناعية المنفردة في وقت حدوثها الحقيقي وسيلة جديدة لفهم كيفية مشاركتها ومعالجتها للمعلومات من أجل الدفاع عن الجسم ضد الأمراض.

Overview: The Structured Dialogue (10)
"make and break" union (1)
antigen-presenting cells (APCs) (2)
supramolecular activation clusters (3)
different colored fluorescent dye (1)
أي يتميز بتغير مستمر

المشابك عن قرب^(١)

إن المشبك - الذي اشتق اسمه باللغة الإنكليزية من كلمتين إغريقيتين تعنيان «التلاصق معا» و«إحكام الربط» - هو نقطة التماس التي تتبادل عندها خليتان إشارات جزئية وتكونان في الأغلب مرتبطتين فيزيائياً إحداهما بالأخرى بواسطة بروتينات رابطة. وعادة ما تكون هذه الروابط طويلة الأمد بين العصبونات فيما تقيم الخلايا المناعية روابط مؤقتة من أجل حوارات سريعة. ويمكن أن تتنوع أشكال المشبك المناعي بحسب نمط الخلية. ويسير تكون تلك المشابك المناعية في مراحل، وهذا يمكنها كذلك من تنظيم الحديث بين الخلايا

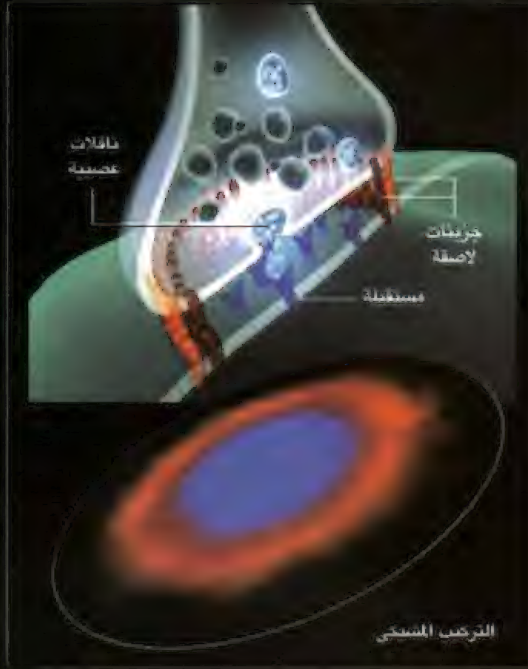
أوجه الشبه بين المشابك

شديداً (كسرات) بروتينية تدعى المستضدات أصام مستقبلات الخلية الثانية^(٢). وينتقل البروتينات التي تدعى CD45، وهي عادة ما تنشط الإشارات. بعيداً إلى محيط المشبك. وعندما ترى التراكيب المشبكية وتأتيها تنظر إليها من داخل إحدى الخليتين، فسوف تجد أنها تشبه نسق عين النور

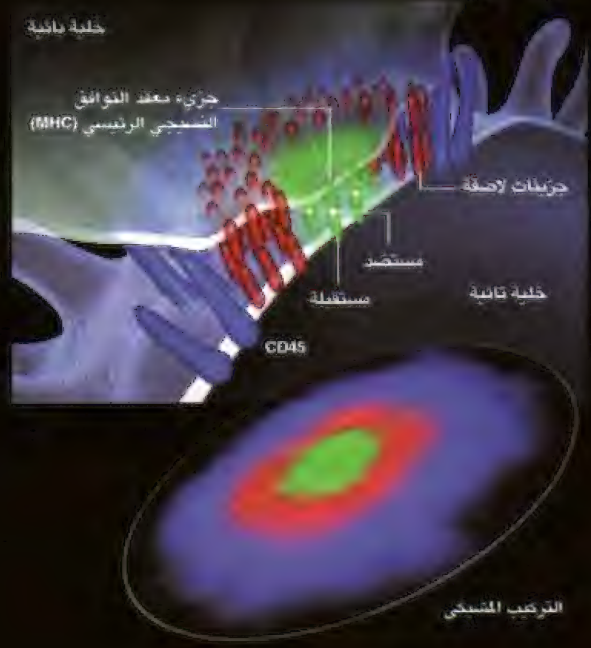
المستقبلات الموجودة على العصبون الآخر. كما تمسك الجزيئات اللاصقة الموجودة بالمشبك العنساين الخلويين وتجعلهما متلاصقين تالاصفاً وثيقاً. فيما تتفاعل معاً أنواع أخرى من البروتين. وفي هذا المثال تعرض جزيئات معقد النوافق التيسجي الرئيسي^(٣) الموجودة على الخلية البانية

في المشبك التقليدي بين عصبونين تمسك البروتينات اللاصقة عتاشتي الخليتين المتفاعلتين معاً وتجعلهما ملتصقين التصاقاً وثيقاً. وعندما ينبه العصبون الأول تتحرك رزم من الجزيئات الناقلة للإشارات (وتدعى الناقلات العصبية) نحو العتشاء لتطلق محتوياتها التي ترتحل إلى

مشبك عصبي



مشبك مناعي

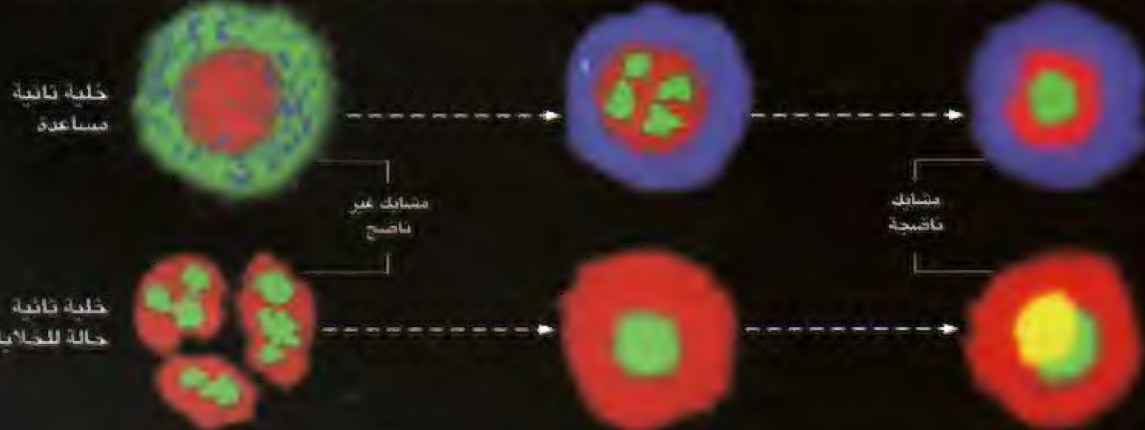


تطور ديناميكي (حركي)

حلقة وأخيراً، تنتقل حبيبات تحتوي على جزيئات سامة (باللون الأصفر) من داخل الخلية إلى مركز المشبك لإطلاق حمولتها القاتلة. ويرغب الباحثون في معرفة الدور الذي يمكن أن يؤديه مراحل تكوين المشبك هذه في تنظيم الاتصال بين الخلايا المناعية

الحلقة الخارجية القصبية وهناك نمط آخر من الخلايا المناعية، وهو الخلية القاتلة، الحالة للخلايا^(٤). مسؤول عن قتل الخلايا غير السليمة. فحينها يضادف هذا النوع خلية غير سليمة، تبدأ مستقبلاته وبروتيناته اللاصقة تتجمع ثم تشكل

يبتدئ تكون مشبك الخلية الثانية المساعدة، يتجمع وتعتقد الجزيئات اللاصقة (باللون الأحمر) عند مركزه والمستقبلات (باللون الأخضر) على شكل حلقة خارجية. وهذا الترتيب سوف ينعكس في المشبك الناضج، بحيث تشكل بروتينات CD45 (باللون الأزرق)





تكون البروتينات الحاملة للجزء القشبي بالمستند (باللون الأخضر) حلقة خارجية وتتجمع الجزيئات اللاصقة (باللون الأصفر) عند المركز. وعلى مدى ستين دقيقة يتعكس هذا الترتيب محاكماً مراحل التفاعل بين الخلية النائية والخلية الحقيقية العارضة للمستند في المشبك المناعي.

في واحدة من تجارب التصوير المبكرة لاستكشاف تركيب المشبك المناعي، استخدم «آي. دسن» وزملاؤه بروتينات موسومة وسما متألفاً (وميضاً) داخل غشاء خلوي صناعي. واتخذت تلك البروتينات تكويناً (تشكلاً) مشبكاً عندما بدأت خلية نائية غير مرئية في الجانب المقابل من هذا الغشاء تتفاعل معها. أولاً

الخلوي تسمح للخلايا بأن تتحكم في مكان تكس البروتينات عند المشبك وزمنه

هناك على الأقل ألتيان أخريان يمكنهما أن تؤديا دوراً في تنظيم البروتينات عند المشبك، ولكن مدى تأثيرهما في الاتصال بين الخلايا المناعية يظل مثيراً للجدل. وهناك مجموعة من المقترحات تفترض وجود منصات صغيرة مؤلفة من بضعة جزيئات بروتينية يمكن أن يتكدس كل منها في الأغشية الخلوية، وتستطيع أن تتحرك حول سطح الخلية على الأرجح بمساعدة الهيكل الخلوي. وحينما تتجمع هذه «الطوافات» الجزيئية في المشبك مع البروتينات المستقبلية الرئيسية التي تكتشف المرض في خلية مقابلة. فإن التفاعل بينها يمكن أن يكون سبب تنشيط الخلية المناعية. ولكن هذه المنصات الموجودة سابقاً هي محل نزاع، لأنها أصغر من أن تُرى مباشرة بواسطة المجهر الضوئي، ومن ثم يكون الدليل على وجودها غير مباشر نوعاً ما

وهناك احتمال آخر مثير للاهتمام وعليه أدلة مباشرة وغير مباشرة. ويتمثل هذا الاحتمال في أن الحجم الفيزيائي لكل نوع من البروتينات المكونة للمشبك يمكن أن يؤدي دوراً مهماً في تحديد وجهة سيره عندما تتلامس الخلايا. فحينما ترتبط البروتينات الموجودة على خلية ما بنظائرها على الخلية المقابلة، يتقارب الغشاء، إن الخليوان أحدهما من الآخر، وتتطابق الفجوة المتبقية بينهما مع حجم البروتينات المترابطة. وهكذا تستطيع الكداسة المركزية المكونة من بروتينات صغيرة أن تقرب الغشامين بقدر يكفي لعصر البروتينات الأكبر حجماً وطردها.

Deciphering the Dance...
dendritic cell (1)
molecular rafts (2)

البنوية المشبكية بين أنماط أخرى من الخلايا المناعية وفي الواقع، كان إسهامي الخاص أثناء عملي مع «د. سترومنجر» [من جامعة هارفرد] في عام 1999 هو مشاهدة مشبك بنوي يكونه نوع مختلف من خلايا الدم البيض يعرف باسم الخلية القاتلة الطبيعية (بالفطرة). وقد أفاد هذا الإسهام في تأكيد عمومية مشاهداتهما. ويُعد استكشاف كيفية حدوث مثل هذه الترتيبات المتغيرة للجزيئات وكذلك كيفية تحكمها في الاتصالات بين الخلايا هو العلم الجديد الذي أتاحه مفهوم المشبك المناعي.

كشف غموض شفرة الرقص

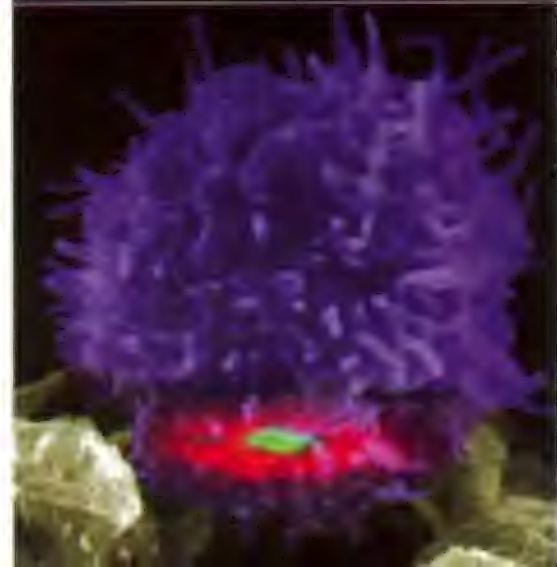
على الفور أدت مشاهدات بنية المشابك المناعية إلى تحفيز الباحثين على استكشاف السبب الذي جعل البروتينات الخلوية تتحرك إلى نقاط التماس بين الخلايا وتنظم نفسها في أنساق معينة. إحدى ناقلات (موجهات) تحركات البروتينات في جميع الخلايا هي شبكة لاقطة للنظر من الخيوط المهمة تسمى الهيكل الخلوي الذي يتألف من سلاسل طويلة من البروتينات تستطيع التمدد والانكماش من حيث الطول. ولما كان هذا الهيكل الخلوي مثبتاً ومشدوداً إلى سطح الخلية بواسطة بروتينات موجهة، فهو يستطيع دفع الغشاء الخلوي أو جذبه، فتتمكن بذلك العضلات من التقلص والغطاف sperms من السباحة

لقد أظهرت التجارب أنه عندما يتم تعطيل الهيكل الخلوي بالذيفانات (التوكسينات) تصبح بعض البروتينات غير قادرة على التحرك نحو المشبك المناعي، وهذا يوحي بأن حركات خيوط الهيكل

الخلايا. فعلى سبيل المثال، شوهدت أول مرة مستقبلات الخلية النائية أثناء تفاعلها مع المستند وهي تتراكم أولاً في حلقة تحيط بعنقود (تجمع) مركزي من البروتينات اللاصقة مكونة بذلك مشبكاً خلويًا غير ناضج للخلية النائية وفي مرحلة لاحقة انعكس وضع هذه البنية بحيث كونت الجزيئات اللاصقة في المشبك الناضج حلقة خارجية من عين الثور وأحاطت بعنقود داخلي من مستقبلات الخلية النائية المتفاعلة

ومنذ أن نُشر «كوبفر» و«داسن» صورهما الأولى لمشبك الخلية النائية، شوهدت كذلك مجموعة متنوعة من النسق

تتصل الخلايا المناعية لتسهيل المعلومات، ويترتب على هذا أن تصبح الخلية النائية (باللون الأزرق) نشطة إذا ما تعرفت مستنداً تعرضه أمامها الخلية التخصصية الأكبر منها ضخماً (باللون النحبي). ففي هذه الصورة المجهرية الإلكترونية المدمجة مع صورة متألقة (وميض) لخلية حية، ترى مستقبلات الخلية النائية المتفاعلة مع المستند وهي تتجمع عند مركز المشبك (باللون الأخضر)، وحلقة مكونة من جزيئات لاصقة (باللون القرمزي) وهي تمسك بالخلتين معاً.



ومن ثم عزل أنماط مختلفة من البروتينات في مناطق مختلفة من المشبك

لقد استخدم «أ. شكرابورتى» وزملاؤه [من جامعة كاليفورنيا في بركلي] نموذجاً رياضياتياً لاختبار هذه الفكرة بتقييم نتيجة تفاعل بروتينات مختلفة الأحجام عبر غشائي خلّيتين متقابلتين ومع أن «شكرابورتى» ليس متخصصاً بعلم المناعة، فقد أوضح وهو المتخصص بالرياضيات أنه أصبح مفتوناً بالنسق الحيزية (المكانية) التي تأسر الأبواب والتي يمكن أن تكونها خلاياه المناعية عندما يصاب بالإنفلونزا وترجع تحليلات مجموعته البحثية أن اختلاف الحجم بين البروتينات قد يكون كافياً بالفعل لجعل البروتينات الكبيرة والصغيرة تتجمع في مناطق منفصلة من المشبك المناعي

وبالطبع يريد المتخصصون في علم المناعة أن يعرفوا كذلك ما الذي تعنيه هذه التحركات البروتينية في سياق الكلام عن الاتصال بين الخلايا المناعية، إن كان لها أي معنى قد يكون الجواب «لا شيء» إن أقدم مفهوم للمشبك المناعي يتمثل في كونه نوعاً من الحبال التي تمكن الخلايا المناعية من توجيه إفراراتها من السيستوكينات إلى الخلية المستهدفة ولكن المثير للاهتمام هو تزايد الأدلة التي ترجع أن المشبك المناعي يمكن أن تكون له وظائف أخرى بحسب الخلايا المتشابهة ويمكن أن تتضمن تلك الوظائف بدء الاتصال أو إنهاؤه، أو المساعدة على تعديل

في هذه الصورة، يجذب الانتباه خلّيتان قاتلتان (في اليمين) وهما تستعدان لتدمير خلية مريضة (في المركز). تتجمع وتتعاقد بروتينات سامة حالة^(١) (باللون الأخضر) عند المشبك بين الخلايا التائية والخلايا المستهدفة بعد أن تم نقلها إلى هناك بواسطة البروتينات الخلوية الهيكلية المسماة الأنشيبات الميكروية (المجهرية)^(٢) (باللون الأحمر). وستحقق البروتينات الحالة في الخلية المستهدفة عبر مركز الترايب المشبكية التي قد تمنع أيضاً الخلايا التائية من أن تسمم نفسها.

استجابة لدى الخلية التائية. وإضافة إلى ذلك، أظهر «شاو» و «الين» ومعهما «داستر» [الموجود في جامعة نيويورك] ومساعدوهم أن إرسال الإشارات الفعال فيما بين الخلايا التائية والخلايا العارضة للمستضد يبدأ قبل أن تتجمع مستقبلات الخلية التائية في موضعها المستقبليات بعيداً عن غشائها الخلوي أثناء إرسال الإشارات. تستطيع الخلايا التائية منع نفسها من فرط تنبيه مميت قد تسببه كثرة المستضدات وقد أظهرت التجارب أن الخلايا التائية تستطيع تقليل عدد المستقبلات الموجودة في التركيب البنياني للمشبك كي تقلل تبادل الإشارات. أما في

يمكن لهذه النسق أن ترسل المعلومات أو تعكسها على الأقل.

حالة وجود كمية صغيرة من المستضدات فإن الخلايا التائية يمكن أن تكدر مستقبلاتها في تقارب وثيق داخل المشبك كي تضخم الإشارة

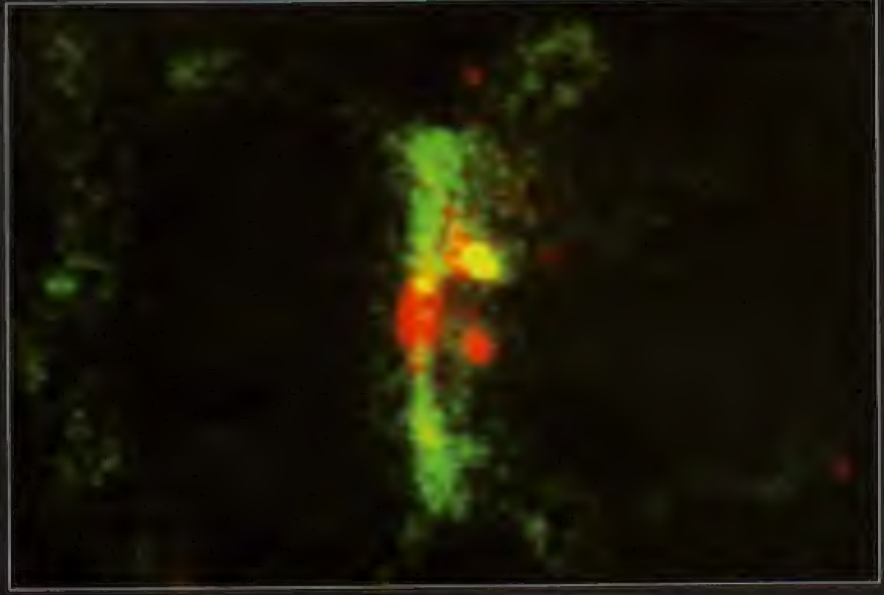
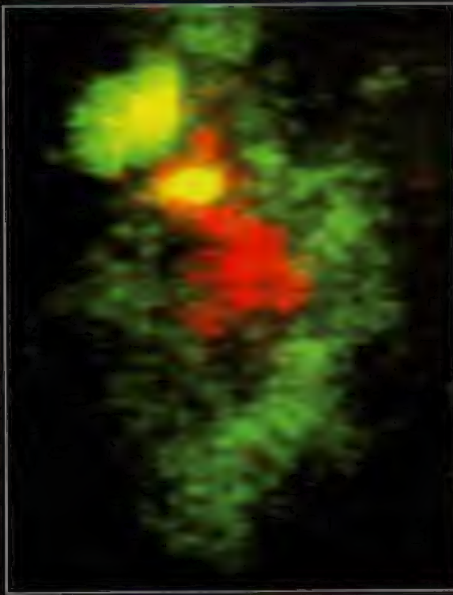
كانت مجموعتي البحثية تدرس ظواهر مماثلة في الخلايا القاتلة الطبيعية (بالهفزة) وهي نمط من الخلايا المناعية التي تبحث عن الخلايا التي آتلفتها مثلاً طفرة سرطانية و

perforin lytic proteins (١)
microtubules (٢)

النهائي في مركز المشبك. وبالفعل، يتم جزء من الاتصال قبل أن يتكون التركيب الناضج. وهذا يعني أن نسق المشبك الناضج يمكن أن يرسل إشارة إنها، الاتصال

لقد كان هؤلاء الباحثون وغيرهم يستكشفون ما هو الدور الذي يمكن أن يؤديه البنيان المعماري للمشبك في تنظيم حجم الحوارات بين الخلايا التائية والخلايا العارضة للمستضد فعن طريق جذب

حجم الإشارات بين خلّيتين إذا جاز التعبير ففي عام 2002 لاحظ «كويغر» (الموجود حالياً في كلية الطب بجامعة جون هوبكنز) على سبيل المثال أن تليغ الإشارات فيما بين خلية تائية وأخرى عارضة للمستضد أمام عناقيد التنشيط فوق الجزيئية يبدأ بأخذ شكل التصاق ناشئ بين الخلّيتين، ولكن وجود عناقيد التنشيط فوق الجزيئية ضروري لجعل التفاعل بين الخلّيتين يحدث



القائمة المصابة بالعدوى. ويوحى هذا التركيب المشابه للمشبك المناعي بأن فيروس اببيضاض الدم الخلوي الثاني البشري وغيره من الفيروسات التي تنفترس الخلايا المناعية مثل فيروس العوز المناعي البشري (المسبب للإيدز)، يمكن أن تنفذ الفرصة وتستفيد من البات الاتصال الخلوي للانتشار من خلية إلى أخرى.

انثناء انتقال فيروس بخص اببيضاض الدم (اللوكميا) الخلوي الثاني (باللون الأحمر) من خلية ثانية مصابة بالعدوى إلى خلية ثانية غير مصابة (في الأعلى، من اليسار إلى اليمين). يرى جزيء التالين اللاصق (باللون الأخضر) وهو يتركز حيث يلتقي الغشاءان الخلويان (في الأعلى جهة اليسار) في مشهد من داخل الخلية.

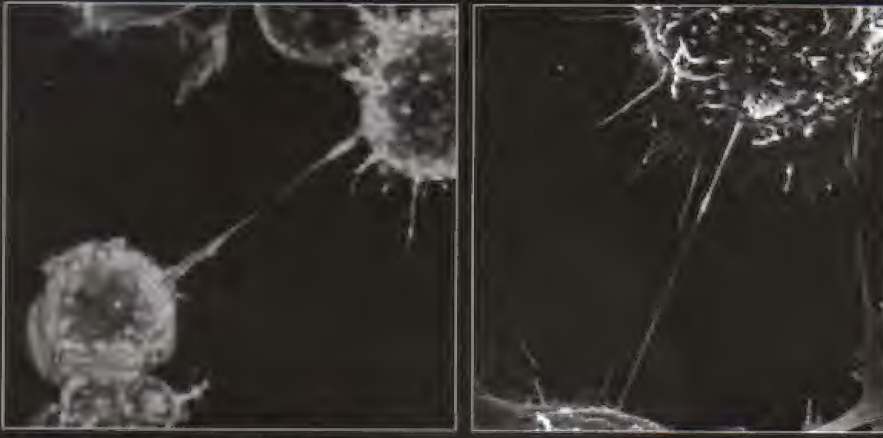
إن مجرد استخدام مصطلح المشبك في وصف التفاعلات بين الخلايا المناعية قد شجع أيضاً علماً، الأعصاب والتخصصين في علم المناعة على مقارنة ملاحظاتهم، فوجدوا أن نمط المشبك العصبي والمشبك المناعي يستخدمان جزيئات بروتينية مشتركة فعلى سبيل المثال، الأجرين agnn بروتين مهم يشترك في تجميع غير من البروتينات عند المشبك بين العصبونات والعضلة وقد أظهرت تجارب التصوير أن هذا الجزيء ذاته يتركز أيضاً عند المشابك المناعية ويستطيع أن يقوي على الأقل بعض أنماط الاستجابات المناعية وبالمثل تم اكتشاف أن المستقبلات التي تسمى «نيوروبيلين» والمعروفة باشتراكها في إرسال الإشارات بين العصبونات موجودة أيضاً عند المشابك المناعية. وتقتصر التجارب أن «نيوروبيلين» يساعد الخلايا المناعية على بحثها عن المرض بمعاونتها على تأسيس مشابك مناعية مع الخلايا الأخرى. ولكننا بحاجة إلى المزيد من الأبحاث لمعرفة الدور الصحيح الذي تؤديه المستقبلات في المناعة إضافة إلى ذلك، قامت مجموعتي البحثية باكتشاف تشابه أخذ آخر بين

المناعي البشري (المسبب للإيدز). فقد بين «أناصام» (من كلية إمبيريال بلندن) ومعاونوه أنه عند نقطة التماس بين الخلايا التي تجتازها الجسيمات الفيروسية تتجمع البروتينات في تركيب يشبه المشبك المناعي (انظر الشكل في هذه الصفحة) ومنذ ذلك الحين لاحظ العديد من الباحثين ظواهر مماثلة للمشبك الفيروسي، ومن ثم يبدو أن الفيروسات المعروفة بسطوها على الآلة الخلوية من أجل استنساخ مادتها الوراثية (الجينية) قد تكون قادرة كذلك على استخدام البات الاتصال الخلوية لتدفع نفسها من خلية إلى أخرى.

لقد أطلق اكتشاف المشبك المناعي موجة من الأبحاث المبنية على أساس تصوير تفاعلات الخلايا المناعية والتي لا تزال تحتاج نتائجها إلى استكمال فهمها. ولكن هذا المجال الخصب بدأ بالفعل يطرح فرضيات جديدة ويولد مزيداً من الأبحاث لاختبار تلك الفرضيات أما فكرة المشبك المناعي ذاتها فقد أعادت بالفعل تشكيل المفاهيم حول الجهاز المناعي كاشفة عن كونه شبكة معقدة لتبادل المعلومات تشبه إلى حد كبير الجهاز العصبي أكثر مما كان يدرك من قبل.

الخلايا التي أصابها أحد الكائنات المسببة للمرض بعدوى ما وتدمرها. فهذه الخلايا المريضة يمكن أن تفقد خاصية إظهار بعض البروتينات على سطوحها - فتدرك الخلايا القاتلة الطبيعية المذكورة انفا هذا النقصان في البروتينات وتعتبر ذلك علامة على المرض. وما نحن نتوصل حالياً إلى أن كمية هذه البروتينات الموجودة على الخلية المستهدفة تؤثر في نسق المشبك المناعي الذي تكونه الخلية القاتلة الطبيعية والنسق المختلفة ترتبط فيما إذا كانت الخلية القاتلة الطبيعية ستقرر في النهاية قتل الخلية المستهدفة أو لا وهكذا يمكن أن تثبت هذه النسق أو على الأقل تعكس المعلومات التي تستخدمها الخلية القاتلة الطبيعية لتحديد مدى اعتلال الخلية المستهدفة.

إلى جانب هذه الاكتشافات الحديثة الخاصة بالوظائف المحتملة للمشبك المناعي والتي تثير الاهتمام والفضول، كانت هناك أيضاً بعض الأخبار المزعجة. فهناك ملاحظة حديثة جداً بينت أن هذا الرقص (الامتزاز) الجزيئي يمكن أن تستغله بعض الفيروسات، ومن ضمنها فيروس العوز



تربط أنابيب نانوية^{١١} - مكونة من الغشاء الخلوي - خليتين عصبيتين إحداهما بالأخرى (في اليمين) وخليتين مناعيتين إحداهما بالأخرى (في اليسار). ولاتزال هذه التراكيب المكتشفة حديثا غير مفهومة جيدا، ولكنها يمكن أن تؤلف آلية مبتكرة (غير مألوفة) للاتصال بين الخلايا عبر المسافات الطويلة. لقد شوهدت كل من الخلايا المناعية والخلايا العصبية وهي تتناقل البروتينات أو الكالسيوم فيما بينها عبر هذه الإنفاق المتناهية الصغر. كما شوهدت الفيروسات وهي تنتقل من خلية إلى أخرى داخل هذه الأنابيب أيضا.

العصبونات والخلايا المناعية حينما لاحظنا أنابيب طويلة مكونة من غشاء خلوي تتكون بسهولة وبسرعة بين الخلايا المناعية ومجموعة متنوعة من أنماط الخلايا الأخرى. وقد كان دافعنا لإجراء هذا البحث الذي اقضى إلى هذا الاكتشاف تقرير صدر عن باحثين المان ونرويجيين يصف ظاهرة مماثلة بين العصبونات (انظر الشكل في هذه الصفحة) صحيح أنه لا نحن ولا علماء الأعصاب نعرف وظيفة تلك الطرق السريعة الأنبوبية المتناهية الصغر، ولكن اكتشاف تلك الوظيفة يعتبر هدفا جديدا لعلم المناعة وعلم الأعصاب على حد سواء.

وعلى سبيل المثال، يمكن أن تؤلف هذه الأنابيب الغشائية الدقيقة آلية لم تكن معروفة من قبل للاتصال بين الخلايا المناعية وذلك عن طريق السماح بإفراز موجّه للسيبتوكينات فيما بين الخلايا البعيد بعضها عن بعض، فقد وجد <S> واتكينز< S> و <K> سالتري< K> من كلية الطب في جامعة بتسبرك< K> أن مجموعة من الخلايا المناعية يمكنها أن تستخدم مثل تلك الطرق السريعة الأنبوبية الدقيقة لنقل إشارات الكالسيوم عبر مساحات شاسعة (بالمقياس الخلوي) تصل إلى مئات الميكرونات خلال ثوان.

وفي المستقبل قد يكشف إجراء المزيد من الدراسات عن التفاعل بين مجموعات أكبر من الخلايا المناعية عن نواح إضافية لشبكات الاتصال بين الخلايا المناعية. ويعد تصوير التفاعلات بين الخلايا المناعية أثناء تجوالها داخل الأجسام الحية - وليس وهي على شريحة - مجالا مهما آخر لهذا الخط البحثي.

وفي تقرير حديث وصف <A> سولستون< A> [الحائز جائزة نوبل] استخدامه مجهر الحافة القاطعة في السبعينات من القرن الماضي لفهم نمو الديدان قائلًا: الآن، ولدهشتي، يمكنني أن أشاهد انقسام الخلايا فنصور <N> نورماسكي< N> للذودة هي من أجمل الأشياء التي يمكن تخيلها. وقد

المرض قد تمّ تعيين هويتها وتسميتها عمليا. فإن قدرة العلماء حاليا على مشاهدة هذه الجزيئات وهي تؤدي وظائفها في الزمان والمكان قد كشفت عن آلية الشبك المناعي وأعادت تأكيد قيمة «مجرد المشاهدة الفورية» باعتبارها طريقة علمية.

cutting-edge microscopy (SMACs) (١١)
nanotube (١٢) أنابيب دقيقة متناهية في الصغر (نقاس بالنانومتر ويساوي 10⁻⁹ من المتر)
ventral cord (١٣) (التحرير)

توصلت في إحدى عطلات نهاية الأسبوع إلى حل لغز الجزء الأعظم من نمو وتطور الحبل البطني^{١٣} بعد طور المضغ في الجنين غير المشاهدة فحسب.

إن استخدام المجهر العالي الميز في مجال تفاعلات الخلايا المناعية لا يزال مجالا فتيا جدا وفي جعبته بالتأكيد المزيد من المفاجآت. ومع أن جميع البروتينات السطحية المشتركة في قيام الخلايا المناعية بتعرّف

المؤلف

Daniel M. Davis

هو أستاذ في علم المناعة الحزنية بكلية إمبريال في لندن. وقد تخصص في دراسة التفاعلات بين الخلايا المناعية باستخدام المجهر العالي الميز. ولأنه بدأ مهنته العلمية فيزيائيا، فقد تحول إلى علم المناعة كزميل في معهد إيرفنجتون للأبحاث التالية للدكتوراه في قسم علم الأحياء (البيولوجيا) الحزنية والخلوية بجامعة هارفرد. وقد قام هناك في عام 1999 بتصوير أول صور لبنية الشبك المناعي في الخلايا القاتلة الطبيعية، وهي التي زودتنا أيضا بأول رؤية لتكون المشبك بين الخلايا الحية. ومنذ ذلك الحين قام «ديفيد» بتأليف - أو بالاشتراك في تأليف - أكثر من 50 ورقة علمية في الفيزياء، التصويرية وعلم المناعة.

مراجع للاستزادة

Three-Dimensional Segregation of Supramolecular Activation Clusters in T Cells. C. R. Monks, B. A. Freiberg, H. Kupfer, N. Sciaky and A. Kupfer in *Nature*, Vol. 395, pages 82-86; September 3, 1998.

Neural and Immunological Synaptic Relations. Michael L. Dustin and David R. Colman in *Science*, Vol. 298, pages 785-789, October 25, 2002.

What Is the Importance of the Immunological Synapse? Daniel M. Davis and Michael L. Dustin in *Trends in Immunology*, Vol. 25, No. 6, pages 323-327; June 2004.

The Language of Life: How Cells Communicate in Health and Disease. Debra Niehoff. Joseph Henry Press, Washington, D.C., 2005. Available online at National Academies Press www.nap.edu/books/0309089891/html

Scientific American, February 2006

هل الخلايا الجذعية المسبب الحقيقي للسرطان؟

يتمثل الجانب المظلم للخلايا الجذعية - وهو إمكان تحولها
إلى خلايا خبيثة - في كونها أصل عدد قليل من السرطانات، وربما
السبب في سرطانات أخرى كثيرة. ويمكن أن يعتمد الشفاء من
هذا المرض على تعقب هذه الخلايا المحيرة القاتلة وتدميرها.

<F.M> كلارك - <W.M> بيكر

تدميرها قد يمثل الطريقة الأكثر نجاعة
للتخلص من المرض. وبالنظر إلى أن هذه
الخلايا تعمل كمحرك يستثير نمو خلايا
سرطانية جديدة، ويحتمل كثيراً أنها
تشكل أصل الخبثة نفسها، فلقد عُرِفَت
بالخلايا الجذعية السرطانية ولكن يعتقد
أيضاً - بموضوعية تامة - أن هذه
الخلايا أو ذريتها غير الناضجة والتي
خضعت لتحول سرطاني، كانت في وقت
ما خلايا جذعية سوية.

إن هذا التصور في أن تجمعاً صغيراً
من الخلايا الجذعية الخبيثة يستطيع أن
يسبب السرطان ليس جديداً ويُعتبر أن
أبحاث الخلايا الجذعية قد بدأت فعلياً في
خمسينات وستينات القرن الماضي بدراسة
الأورام الصلبة وسرطانات الدم وتم
الكشف عن عدد كبير من المبادئ الأساسية
لتكوّن النسيج السوية ولسيرورات التئام
بملاحظة ما يحدث عندما تُخرج
السيرورات السوية عن مسارها.

واليوم تُلقَى دراسة الخلايا الجذعية
الضوء على أبحاث السرطان وفي
السنوات الخمسين الفائتة زودنا
العلماء بتفاصيل وافية عن الآليات
الناظمة لسلوك الخلايا الجذعية السوية
ولنتاجها الخلوي. وبدورها أدت هذه

إبقاء المرض لم يُستأصل بعد.
ووفقاً لمعرفة تقليدية شائعة، فقد ظل
الاعتقاد سائداً لفترة طويلة أن بقاء أي خلية
ورمية في الجسم قد يجعل احتمال الإصابة
بالمرض قائماً. لذا، فإن المعالجات الحالية
تتركز على قتل أكبر عدد ممكن من الخلايا
السرطانية ولكن نجاحات هذه المقاربة
لا تزال إلى حد كبير قيد الصواب والخطأ
كما يظل التكهّن بالمرض ضعيفاً لدى ذوي
الحالات المتأخرة من الأورام الخبيثة الصلبة
الأكثر شيوعاً.

فضلاً على ذلك، فلقد غداً واضحاً
حالياً أنه في السرطان CML (ابيضاض
الدم النقوي المزمن) وأنواع قليلة أخرى
من السرطانات هناك نسبة في غاية
الضآلة من الخلايا الورمية تمتلك القدرة
على إنتاج نسيج سرطاني جديد. وأن
استهداف هذه الخلايا النوعية بغية

بعد انقضاء أكثر من ثلاثين عاماً على
الحرب المعلنة ضد السرطان، يمكن الادعاء
أن انتصارات قليلة مهمة قد تحققت، مثل
معدل البقاء قدره 85 في المئة لبعض
سرطانات الطفولة التي كان تشخيصها يمثل
في ما مضى حكماً بال موت. كما أمكن لأدوية
حديثة في حالات أخرى من السرطانات أن
تعمل نوعاً ما على إحضار المرض، لتجعل
منه حالة يمكن للمريض أن يعيش بها
ففي عام 2001 مثلاً، تمت المصادقة على
العقار كليفك Gleevec لمعالجة ابيضاض
الدم النقوي (النخاعي) المزمن chronic
myelogenous leukemia (CML) ولاقى العقار
نجاحاً باهراً. ذلك أن عدداً كبيراً من
المرضى هم حالياً في هدأة نتيجة المعالجة
بالعقار كليفك. ولكن الأدلة توحى بقوة بأن
هؤلاء المرضى لم يشفوا شفاء حقيقياً، ذلك
أن مستودعاً من الخلايا الخبيثة مسؤولاً عن

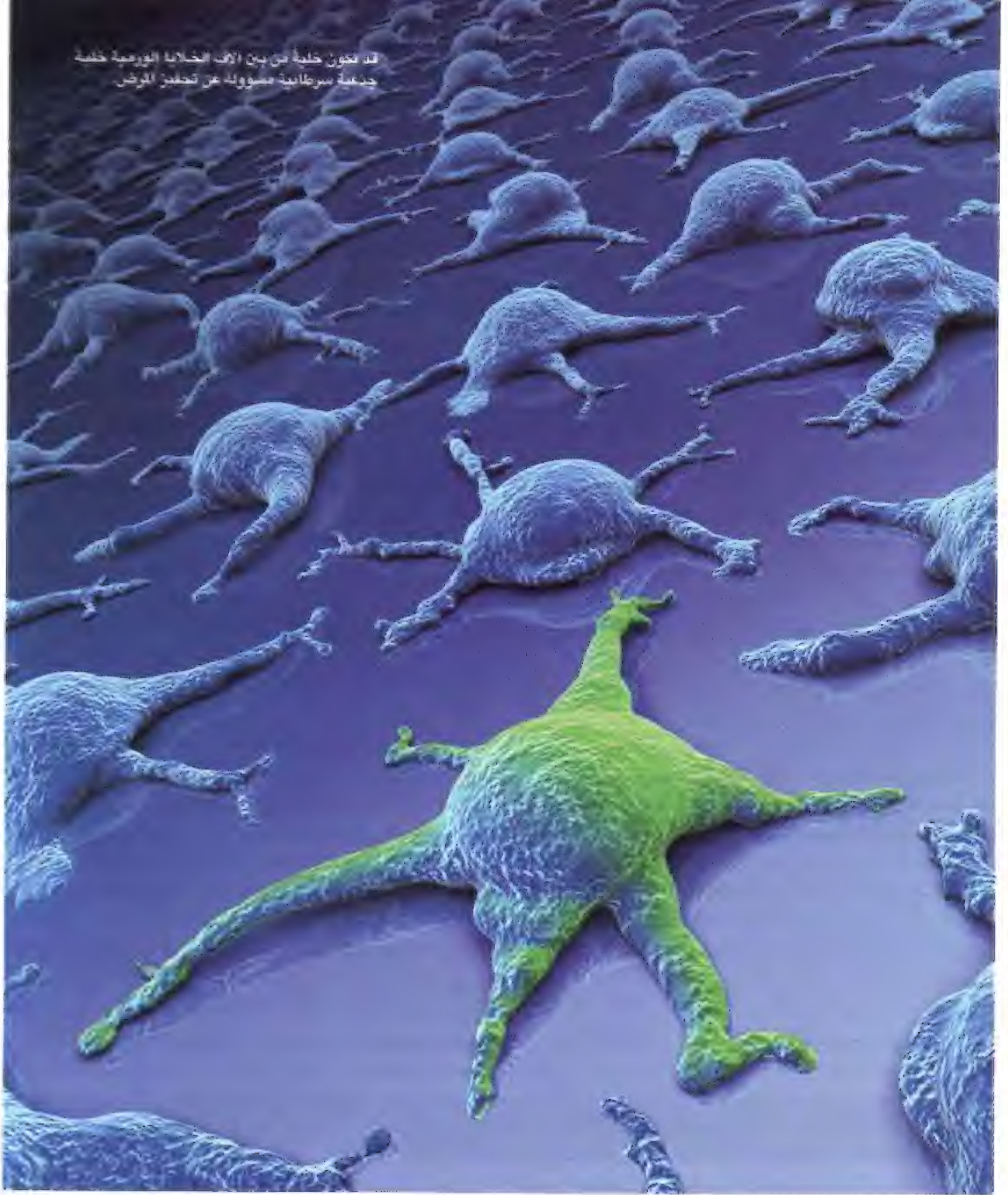
نظرة إجمالية/ الخلايا الجذعية السرطانية^(١)

- غالباً ما ينظر إلى الخلايا السرطانية على أن لجميعها الإمكانية نفسها لتتكاثر ولتنتشر المرض.
ولكن في أنماط كثيرة من السرطان يوجد فقط مجموعة ضئيلة من الخلايا الورمية تمتلك هذه
المقدرة.
- تنقسم الخلايا المولدة للورم مع الخلايا الجذعية سمات أساسية، بما في ذلك مدى عمر غير
محدود وقدرتها على توليد طيف متنوع من أنماط خلوية أخرى. لذا فقد اعتبرت هذه الخلايا
المولدة للورم خلايا جذعية سرطانية.
- يعتقد أن هذه السليقات الخبيثة تنشأ نتيجة إخفاقات تنظيمية في الخلايا الجذعية القاتلة
أو لنسلها المباشرين.
- ومن أجل استئصال شافة المرض، فإن على معالجات السرطان أن تستهدف الخلايا الجذعية السرطانية.

(١) STEM CELLS: THE REAL CULPRITS IN CANCER?
Overview/ Cancer Stem Cells (١٤٤)

(١) myelogenous ينشأ في نقي (نخاع) العظام
(التحرير)

قد تكون خلية من بين آلاف الخلايا الورمية خلفه
جذعية سرطانية مسؤولة عن تحفيز المرض



سلوك منظم

وكما هو معروف، فإن الجسم البشري يمثل "منظومة ذات اختيار غاية في التخصص"، تتألف من أعضاء ونسج متعددة، يؤدي كل منها وظيفة أساسية للحفاظ على الحياة ولكن الخلايا الأخرى التي تؤلف هذه النسج غالباً ما تتميز بقصر أجلها فالجذ الذي

Orderly Conduct (x)
highly compartmentalized system (١)

التبصرات الجديدة إلى اكتشاف سلسلة مماثلة بين الخلايا السرطانية ضمن الورم نفسه، لتضيف سنداً قوياً للنظرية التي ترى أن الخلايا الشبيهة بالجذعية والتي ضلت طريقها تمثل الجذر الذي نشأت عنه سرطانات عديدة. لذا، فإن الاستهداف المجدي لهذه الخلايا الجذعية السرطانية بغية استئصال شأفتها يتطلب في المقام الأول فهماً جيداً للكيفية التي تتحول فيها خلية جذعية سوية إلى ضارة.

يغطي جسدك اليوم هو ليس حقيقة الجلد نفسه الذي كان لديك قبل شهر من الزمن. ذلك أن خلايا سطحه قد انسلخت، وتم استبدالها كما أن بطانة المعى تُستبدل كل أسبوعين تقريبا. ويبلغ مدى عمر الصفائح الدموية التي تساعد على تجلط الدم قرابة عشرة أيام. إن الآلية التي تُبقي على مجموعة ثابتة من الخلايا العاملة في هذه النسيج تكون متناغمة عبر الجسم كله، وهي في واقع الأمر مصانة في الأنواع المعقدة كافة. وتتمركز هذه الآلية في جُمِعة pool صغيرة من الخلايا الجذعية المبددة العمر، تعمل مصانع للإمدادات الجديدة من الخلايا الوظيفية. وتتبع هذه السيورة التصنيعية خطى على درجة عالية جدا من التنظيم والانتظام، بحيث يصبح وفقا لذلك كل جيل من ذراري الخلايا الجذعية على درجة متزايدة من التخصص.

ولعل عائلة بقي (نخاع) العظم المكونة للدم وللخلايا المناعية تشكل خير مثال لهذه المنظومة فجميع الخلايا الوظيفية الموجودة في الدم واللف تنشأ عن خلية والدية عامة واحدة، تعرف بالخلية الجذعية المكونة للدم (HSC) hematopoietic stem cell، تستوطن في العظم وتشكل الخلية HSC في البالغ لا يزيد على 0.01 في المئة من مجموع خلايا نقي العظم. ومع ذلك، فإن كل خلية من هذه الخلايا النادرة تعطي عددا كبيرا جدا من الخلايا

السليفة progenitor cells المتمايزة تمايزا وسطا (غير كاملة التمايز) وتنقسم هذه الخلايا بدورها، وتتمايز أكثر عبر عدة مراحل إلى

خلايا ناضجة، مسؤولة عن إنجاز مهام نوعية: تراوح بين الدفاع ضد العدوى (الضخم) وبين نقل الأكسجين إلى النسيج [انظر الإطار في الصفحة المقابلة]. وفي اللحظة التي تصل فيها الخلية هذه المرحلة النهائية الوظيفية، تكون قد فقدت كليا قدراتها على التكاثر أو على تغيير مصيرها وقدرها، فيقال عنها عندئذ إنها صارت كاملة التمايز. أما الخلايا الجذعية نفسها فتبقى، في غضون ذلك، غير متميزة. حالة يتم الحفاظ عليها من خلال قابليتها المنفردة للتجدد الذاتي. فلكي تشرع في إنتاج نسيج جديدة، تنقسم الخلية الجذعية إلى خليتين اثنتين، ولكن خلية واحدة من الخليتين الابنتين الناتجتين قد تواصل، عبر مسلك خاص، باتجاه زيادة النوعية. أما الخلية الابنة الأخرى فقد تحتفظ، عوضا عن ذلك، بهويتها كخلية جذعية. وهكذا، فإن العدد المجلل للخلايا الجذعية في الجُمِعة الواحدة يبقى ثابتا. في حين أن تكاثر الخلايا السليفة غير كاملة التمايز يتيح لتجمعات من أنماط نوعية من الخلايا المكونة للدم بأن تنتشر بسرعة كاستجابة للحاجات المتغيرة.

وتُعد قابلية الخلايا الجذعية لإعادة تخليق نفسها بالتجدد الذاتي هي الخاصية المميزة الأكثر أهمية، وهي التي تمنح هذه الخلايا الكمون لدى عمر ولتكاثر في المستقبل غير محدودين وبالمقابل، فإن الخلايا السليفة تمتلك بعض المقدرة على تجديد نفسها أثناء تكاثرها، ولكنها مقيدة بالية ضبط داخلية لعدد محدد تماما من الانقسامات الخلوية. ومع تزايد التمايز، فإن قدرة ذراري السلفيات على التكاثر تتناقص تناقصا مطردا.

ويمكن ملاحظة الدلالة العملية لهذه الامتيازات عندما يتم اغتراس الخلايا الجذعية المكونة للدم أو الخلايا المتحدرة

عنها، فعندما يتم تشجيع بقي عظم الفأر بغية تخريب الجهاز الطبيعي المكون للدم في الجسم، يمكن للخلايا السليفة التي تم اغتراسها في وسط النقي أن تتكاثر وتجدد تكوين الدم مؤقتا. ولكن بعد أربعة أسابيع إلى ثمانية، فإن تلك الخلايا ستموت. ومن جهة أخرى، فإن اغتراس خلية جذعية واحدة فقط مكونة للدم، يمكن أن يجدد كامل الجهاز الدموي للحيوان طوال مدة حياته.

لقد تم التوصل إلى فهم جيد لتعضي الجهاز المكون للدم قبل أكثر من ثلاثين عاما: إلا أنه تم حديثا تعرف سلسلة خلوية مماثلة في نُسج بشرية أخرى، تشمل الدماغ والشيء وغدة البروستات (الموتة) والأمعاء، الغليظة والدقيقة والجلد. كما أن مبادئ سلوك الخلايا الجذعية المنظمة تتشاركها أيضا هذه النسيج. بما في ذلك اليات نوعية للتحكم في أعداد الخلايا الجذعية، ولتوجيه القرارات في ما يتعلق بمصير كل خلية من الخلايا. فمثلا، هناك جينات عديدة وشلال من الأحداث تستثير فاعلية هذه الخلايا - تعرف بالمسارات الجينية - تؤدي دورا حاسما في تقرير مصير الخلايا الجذعية ووظيفتها. وتوجد بين هذه المسارات الجينية سبل تأثير تضبطها الجينات Bmi-1 و Notch و Sonic hedgehog و Wnt ومع ذلك، لم يتم تعرف أغلب هذه

إن مقدرة الخلايا الجذعية على تجديد نفسها تضعها فعليا خارج قواعد اللعبة.

الجينات للصرة الأولى بوساطة علماء يدرسون الخلايا الجذعية، بل من قبل باحثي السرطان: ذلك أن مسارات هذه الجينات متورطة

أيضا في تنامي السرطانات

وبالفعل، فقد تمت ملاحظة الكثير من أوجه التشابه هذه بين الخلايا الجذعية والخلايا السرطانية وينطوي التعريف الكلاسيكي للسرطان نفسه على القابلية الظاهرية للخلايا السرطانية لتعيش وتتكاثر إلى ما لانهاية، وقدرتها على غزو النسيج المجاورة، وعلى الهجرة (الانتقال metastasization) إلى مواقع بعيدة في الجسم. وفي الواقع، إن التقييدات المكلفة التي تضبط بصرامة التكاثر الخلوي وهوية الخلايا السوية يبدو أنها قد رفعت عن الخلايا السرطانية.

إن مقدرة الخلايا الجذعية على التجدد الذاتي أعفاها فعلا من القواعد المقيدة لدى الحياة وللتكاثر، التي يخضع لها معظم الأنماط الخلوية. كما أن قدرة الخلايا الجذعية على التمايز إلى أنماط خلوية واسعة الطيف آتاح لها تشكيل جميع العناصر المختلفة اللازمة لتكوين عضو أو نسيج وبالمماثلة، تتجسد السمة المميزة للأورام بتغاير الأنماط الخلوية التي تحويها هذه الأورام، وكان الورم هو نسخة محورة مغرقة في الفوضى لكامل العضو. ولقد اتضح أن الخلايا الجذعية المكونة للدم تهاجر إلى أقسام بعيدة في الجسم استجابة لإشارات الأذى. تماما كما تهاجر الخلايا السرطانية.

أما في الخلايا الجذعية السوية، فإن التنظيم الجيني الصارم يجعلها تحت السيطرة من النمو والتنوع غير المحدودين. إن إزالة اليات السيطرة تلك سينجم عنها ما يماثل كثيرا السرطان. وتوجه هذه القواسم المشتركة، جنبا إلى جنب مع أدلة تجريبيّة متنامية، أن

(١) جمع ذرية.

(٢) daughter

(٣) cascades of events

(٤) self-renewal

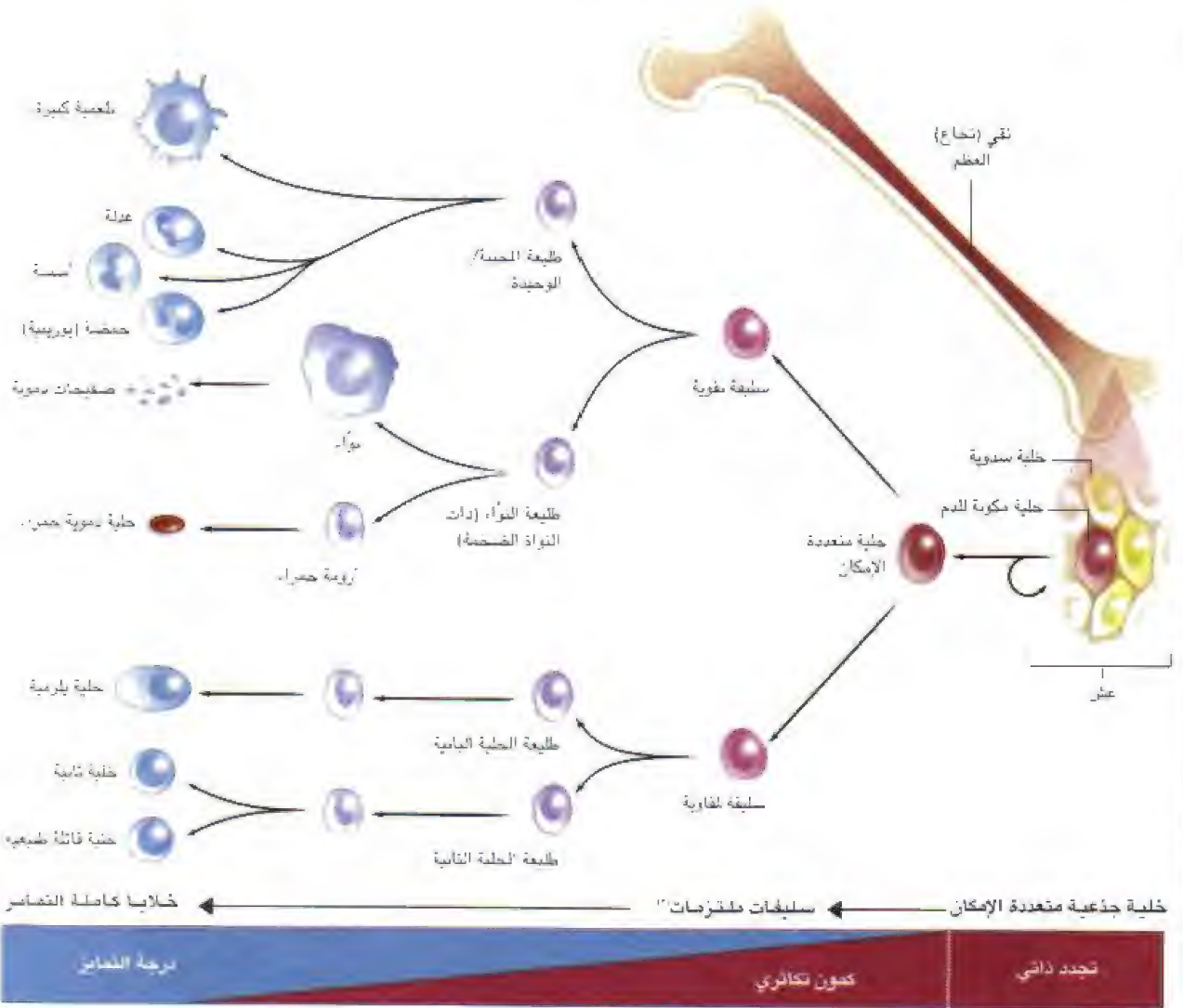
(٥) specificity

(٦) signaling pathways

الهرمية في الخلايا المكونة للدم⁽¹⁾

محتفظة بهويتها المبددة العمر، وخلية ابنة أخرى فصيصة العمر تعرف بالخلاية السليقة المتعددة الإمكان (القوى) multipotent progenitor cell (MPP) وينقسم تنقسم الخلية MPP لتنتج سلبيقات تلزم بتوليد خلايا في السلالات الضوية (الدوية) أو اللماوية (المناعية) وما إن يترأى تخصص الخلايا المنحدرة من السلبيقات، حتى تعاني انخفاضاً مبرمجاً في قدرتها على التكاثر حتى تتوقف عن الانقسام، فيقال عنها إنها في حالة تمايز نهائي والخلايا الجذعية هي الوحيدة التي تحتفظ بكون تكاثرية غير محدود عبر قدرتها على تحديد نفسها جديداً لانهائها بأن تنقسم من دون أن تتمايز

توضع الخلايا الجذعية في جهاز تكوين الدم hematopoietic system المبادئ التي تحكم أيضاً ما علية الخلايا الجذعية في نسيج آخرى وتشكل مجموعة صغيرة من الخلايا الجذعية المكونة للدم (HSC) hematopoietic stem cells في نقي (نخاع) العظم مصدر معظم الأنماط الخلوية المختلفة، الدموية منها والمناعية، التي تجول في الجسم البشري وتستوطن الخلايا HSC في عثر بيتي خاص، محاط بخلايا من نسيج صام تعرف بالخلايا السديوية (اللحمية) stromal cells تزود الخلايا الجذعية بإشارات تنظيمية مهمة، فعندما تدعو الحاجة إلى خلايا دموية أو مناعية جديدة، تنقسم الخلية HSC لتنتج خلية ابنة تبقى في العثر



والجلد يبدو وكأنه منظومة شديدة التعقيد وغير كفوة لتحتل محل الخلايا التالفة أو الهرمة، أو لا يبدو أنه سيكون معقولا أكثر في ما يتعلق بالكائن الحي إذا أمكن لكل خلية من خلاياه أن تتكاثر ببساطة، وكلما دعت الحاجة إلى ذلك، لتقدم خلايا جديدة عوضاً عن الخلايا المتأذية المجاورة لها⁽²⁾ للوهلة الأولى، قد يبدو ذلك ممكناً ولكن هذا سيجعل من كل خلية في الجسم خلية سرطانية كامنة

إخفاق تنظيم الخلايا الجذعية يمثل الكيفية التي تبدأ وفقاً لها أنماط خلوية عديدة بالتسرطن، وكيف تُخلد هذه السرطانات نفسها، وكيف يمكن احتمالاً للسرطانات أن تنتشر.

موطن الضعف⁽³⁾

إن وجود الخلايا الجذعية في نسيج معينة، وبخاصة تلك التي يكون معدل التحول الخلوي (الانقسام الخلوي) فيها عالياً كالمغى

(1) Achilles' Heel and Tissue Proliferative Potential

(2) Hierarchy in Blood Forming Cells
(3) environmental niche
committed progenitors

خلال العقد الماضي، رسّخ دليل على أنه يمكن للخلايا الجذعية أن تصبح خبيثة. وإن خلايا سرطانية معينة فقط تنقسم تنوعاً من السمات مع الخلايا الجذعية: رسّخ الفكرة أن الباعث الأساسي لنمو الورم قد يكون مجموعة صغيرة من الخلايا السرطانية الشبيهة بالجذعية. ومع أن لهذه النظرية تاريخاً طويلاً، فإن النقطة لم تكن متوافرة في الماضي للبرهان عليها.

وفي ستينيات القرن الماضي بدأت فعلاً قلة من العلماء بملاحظة أن مجموعات من الخلايا داخل الورم نفسه قد اختلفت في قدرتها على إنتاج نسيج ورمي جديد. وفي عام 1971، برهن «C H بارك» وزملاؤه [في جامعة تورنتو] على أن الخلايا في مزرعة خلوية مصدرها ورم نقوي أصلي أو أولي (سرطان يصيب خلايا بلازمية plasma cells في نقي العظم) أبدت اختلافات ذات دلالة في قدرتها على التكاثر ولم يكن بإمكان مجموعة «بارك» إيجاد تفسير قاطع لهذه الظاهرة، ذلك أن تحليلين ممكنين على الأقل كانا قد اقترحا حينئذ. قد تكون الخلايا جميعها قد امتلكت القدرة على التضاعف في الزرع، ولكن بالمصادفة بعضها فقط تضاعف، أو أن تسلسلاً خلوياً يوجد في الورم، وأن الخلايا الجذعية السرطانية ستعطى خلايا غير مكونة للورم أو غير قادرة على التكاثر.

وفي عام 1967، برهن فعلاً «P I فيالكو» [من جامعة واشنطن] على أن طراز الخلايا الجذعية هو احتمالياً الطراز الصحيح لايبيضاض الدم فباستعماله بروتينا واسما على غشاء الخلية، يعرف بالرمز G-6-PD، يمكنه تعريف السلالة الخلوية، برهن «فيالكو» على أنه في بعض المصابات بايبيضاض الدم نشأت الخلايا المكونة للورم وأيضاً سلفياتهما غير المكونة للورم والأكثر تمايزاً كليهما من الخلية الوالدية نفسها.

وكانت هذه الدراسات المبكرة حاسمة في تطوير نموذج الخلايا الجذعية للسرطان، ولكنها ظلت مقيدة بعدم قدرة الباحثين على عزل الجبهات الخلوية المختلفة الموجودة داخل ورم وفحصها. ولذا، فإن الحدث الرئيسي في بيولوجيا الخلايا الجذعية كان في المتاحية (المستفادية) التجارية. بدءاً من سبعينيات القرن الماضي، لجهاز يعرف بمقياس الجريان الخلوي flow cytometer، الذي يستطيع ألياً أن يفرز الجبهات الخلوية الحية المختلفة بناءً على الواسمات السطحية المتفرقة التي تحملها.

وتمثل الحدث الحاسم الثاني حول تطور دراسات الخلايا الجذعية السرطانية في تطوير اختبارات حاسمة للتجدد الذاتي في تسعينيات القرن الماضي ولم تتوافر المقاييسات التي تؤكد التجدد الذاتي في الخلايا البشرية إلا عندما طور كل من «وايزمان» [من جامعة ستانفورد] و«I ديك» [من جامعة تورنتو] طرائق أتاحت للخلايا الجذعية البشرية السوية أن تنمو في الفئران، فباستعمال مقياس الجريان الخلوي ونموذج الفأر الجديد هذا، شرع «ديك» في عام 1994 في نشر سلسلة من التقارير التي أثرت في تطور هذا

ويعتقد أن السرطانات تنشأ عندما تتراكم تغيرات «جينية وورمية» oncogenic، تتناول جينات أساسية داخل الخلية، وتؤدي إلى نمو وتحول شاذين لتلك الخلية. وتحدث الطفرات الجينية نمطياً عبر آذى مباشر، كتعرض الخلية للإشعاع أو للكيماويات، أو ببساطة عبر أخطاء عشوائية عندما يتم نسخ الجينة نسخاً خاطئاً قبل حدوث الانقسام الخلوي وبالنظر إلى أن الخلايا الجذعية النادرة هي الخلايا الوحيدة المعمرة في الأعضاء حيث تتنامى معظم السرطانات، فهي تمثل مستودعاً كمونياً أصغر بكثير من أن يتراكم فيه التالف الجيني الذي قد يؤدي في النهاية إلى السرطان. ولكن مما يؤسف له أنه بسبب كون الخلايا الجذعية معمرة، فإنها تصبح أيضاً المخزن الأكثر احتمالاً لهذا التلف.

وبالفعل، فإن طول عمر الخلايا الجذعية نفسه قد يفسر لماذا يتنامى الكثير من السرطانات بعد عقود من تعرض النسيج للتشعيع وقد لا تكون الأذية البدنية سوى الأولى في سلسلة من الطفرات الضرورية لتحول خلية سوية إلى خلية خبيثة. وإضافة إلى تكديسها واحتفاظها بهذه الدبب الجينية الورمية، فإن القدرة التكاثرية المذهلة للخلايا الجذعية تجعلها هدفاً مثالياً للحياة (للسرطان). وبالنظر إلى أن التجدد الذاتي للخلايا يكون منظماً تنظيمياً صارماً، فإن مجموعة خلوية تمتلك تلك القابلية ستحتاج لكي تصبح سرطانية إلى طفرات إضافية أقل مما تحتاج إليه الخلايا التي لا تمتلك تلك القابلية.

وإذا ما أخذنا هذه الاعتبارات في الحسبان، فستصبح مسارات ممكنة كثيرة للسرطان جلية. ففي أحد الطرز، تحدث الطفرات في الخلايا الجذعية نفسها، مما يتسبب في فقدانها السيطرة على قرارات التجدد الذاتي منتجةً جميعاً من الخلايا الجذعية مؤهلة للإصابة بالسرطان. إن أحداثاً جينية ورمية إضافية تالية تحفز تكاثر الخلايا الخبيثة (السرطانية) داخل ورم ما، قد تقع في الخلايا الجذعية أو في الخلايا المتحدرة منها: أي في المجموعة الخلوية السليفة المتورطة. ويعتقد في طراز ثانٍ أن الطفرات الجينية الورمية تحدث في البدء في الخلايا الجذعية، لكن الخطوات النهائية في التحول إلى خلايا سرطانية تحدث فقط في الخلايا السليفة المتورطة. وستطلب هذا السيناريو أن يعاد بطريقة ما تفعيل القدرة على التجدد الذاتي التي فقدتها السليفات.

وتدعم الأدلة الحالية كلا الطرازين إنما في سرطانات مختلفة ويوجد مثال واحد على الأقل لكلتا السيرورتين اللتين تؤديان دوراً معيناً في مراحل مختلفة للمرض نفسه. فابيضاض الدم النقوي المزمن (CML) هو سرطان الخلايا الدموية الببيض، وينجم عن اندماج خاطئ لجينتين اثنتين. إن عزز الجينة المندمجة الناتجة سيحول خلية جذعية مكونة للدم سوية إلى خلية جذعية لايبيضاض (للسرطان) الدم إن مرض CML الذي ترك من دون معالجة يتطور إلى شكل حاد يعرف ببخثران (عصف) ابيضاض الدم النقوي المزمن CML blast crisis. إن الأحداث الجينية الإضافية النوعية المسؤولة عن هذا الشكل المحور الأكثر ضراوة للمرض قد منحت خلايا سليمة معينة القدرة على التجدد الذاتي.

*Steady Pursuit (x)

(١) هو التغير الذي يحدث دفعة في الأمراض الحادة

(٢) assays

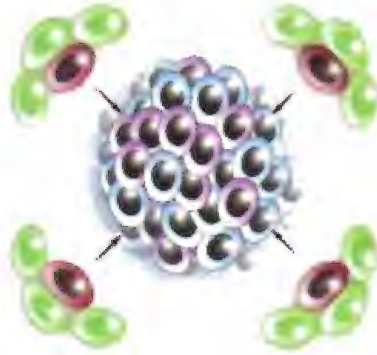
flow cytometry (٣)

صارما من قبل برنامجها الجيني بالتوافق مع إشارات تطلقها من عيشها البيئي. لذا، فإن التغيرات التي تطرأ على الطريقة التي تستجيب وفقا لها الخلايا الجذعية السرطانية، التي تحمل طفرات جينية مكونة للورم - لتأشير العيش - قد تؤدي مورا مهما في الانتقال النهائي للخلايا [d, c, b, a] أما الخيار الآخر فيتمثل في أن الطفرات في الخلايا الجذعية قد تُستغنى في الخلايا غير الناضجة المتحدرة منها (أي الخلايا السليفة progenitor cells، التي تعاني في ما بعد طفرات إضافية تعيد تفعيل خاصية التجدد الذاتي التي تمتلكها في الحالة السوية الخلايا الجذعية فقط [d] وقد لوحظت أدلة على هذه الإمكانيات جميعها في أنواع مختلفة من السرطان

لقد تم التثبت من وجود الخلايا الجذعية السرطانية التي تتسبب في نمو الورم في أنواع عديدة من سرطانات الدم وفي حصة من الأنماط الورمية الصلبة، ولكن الكيفية التي تنشأ وفقا لها هذه الخلايا الجذعية الخبيثة ما زالت غير مؤكدة. وبالحلية الجذعية السوية، فإن للخلية الجذعية السرطانية القدرة على التجدد الذاتي بالانقسام من دون أن تتمايز. ولذا فإنها تستطيع كمونيا أن تثنى عددا غير محدود من الخلايا غير المتمايزة الشاذة التي تشكل معظم الورم. ولهذه الخلايا السليفة مدى عمري محدود، وليست بعد ذاتها مولدة للورم أي إنها لا تولد خلايا سرطانية جديدة. ويضبط سلوك الخلايا الجذعية السوية ضبطا

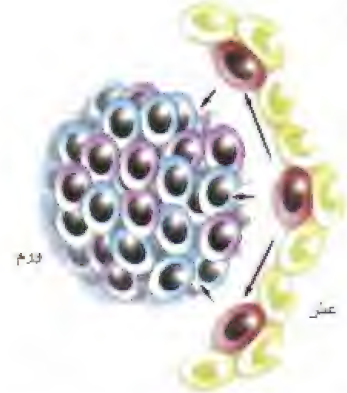
خلية جذعية سرطانية خلية سليفة شاذة خلية متمايزة شاذة خلية عيشية خلية عيشية بديلة

b



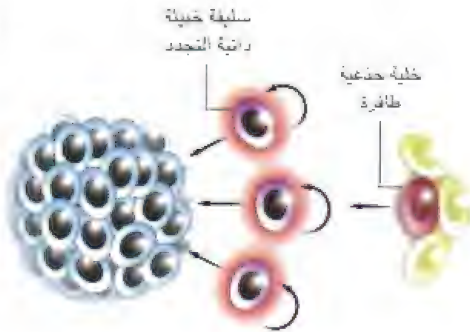
عش بديل، تتضمن الطفرات الحينية الورمية التي تصيب الخلايا الجذعية السرطانية تغييرات تمكنها من أن تتلام مع ظروف عيش جديد. وبإستطاعة الخلايا الجذعية السرطانية أن تزيد من انتشارها وتكاثرها، وربما تحتاج النسيج المحاورة أو تنتقل إلى مواضع بعيدة في الجسم

a



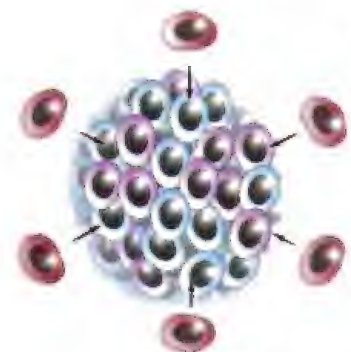
عش متوسع. تستغنى الخلايا الجذعية السرطانية ذات الطفرات الجينية الورمية في حالة مقيدة، بواسطة إشارات عيشية صحيحة حتى ينسب تغير إضافي في الخلايا الجذعية السرطانية، أو في العيش. في توسع هذا العيش ويتيح العيش الأكبر للخلايا الجذعية الحينية أن تزيد مجموعاتها (جمهراتها) الحولية الخاصة بها، ومن ثم زيادة عدد الخلايا الشاذة التي تولدها

d



طفرات التجدد الذاتي، إن الخلايا السليفة المؤهلة للخلايا، بواسطة طفرات جينية ورمية ورثت عن خلايا جذعية وأدية، تعاني طفرة إضافية تعيد إليها قدرتها على التضاعف الذاتي وما إن يحدث ذلك، حتى تصيب هذه الخلايا ذات مدى عمري غير محدود. وتمثل نصبة القدرة على تكوين الورم فتعود خلايا جذعية سرطانية

c



استقلالية العيش تجعل الطفرة الخلايا الجذعية التي هي مؤهلة فعلا للخلايا مستقلة عن تأشير العيش، مما يزيل جميع أشكال التحكم البيئي السوي الخاصة بالتجدد الذاتي والتكاثر في الخلايا الجذعية السرطانية

تضييق الخناق على الخلايا الجذعية السرطانية^(١٢)

لقد قادت تقنيات فرز الخلايا السرطانية الحية، وكذلك تقنيات تحديد فيما إذا كانت هذه الخلايا تمتلك القدرة على التجديد الذاتي، إلى التعرف الإيجابي للخلايا الجذعية السرطانية داخل مجموعات خلوية سرطانية كبيرة. وقد أوضحت أنماط السرطان المُحدَّدة في الأسفل أن الخلايا الجذعية الخبيثة لديها القدرة على التجديد الذاتي، وأنها تستطيع أن تنشئ المزيج الكامل لأنماط الخلايا التي كانت توجد في الورم الأصل، وتعني هاتان الخاصتان أن بإمكان عدد ضئيل من الخلايا الجذعية السرطانية أن تجدد الورم بأكمله، وبإمكانها أيضاً أن تستكمل باستمرار مجموعتها (جمهرتها) الخلوية الأكثر ضخامة - حيث يكون معظم الخلايا غير مكوّن للورم، وأن تعيد تشكيل السرطان الأصلي حتى لو تم تدمير معظم الورم أو كله. إن استئصال شافة المرض سيتطلب إذاً معالجات تستهدف بنجاعة الخلايا الجذعية السرطانية

نمط السرطان (السنة التي تم فيها تعرف الخلايا الجذعية السرطانية)

ابيضاض الدم النقوي المنشأ الحاد (1994)

ابيضاض الدم بأرومة اللقفاوية الحاد (1997)

ابيضاض الدم النقوي المزمن (1999)

الثدي (2003)

الورم النقوي المتعدد (2003)

الدماغ (2004)

البروستات (الموت) (2005)

المجال في المستقبل، أوضح من خلالها كيف تُعرف خلايا جذعية سرطانية في ابيضاض الدم. وفي عام 2003 تعرف «R جونز» [في جامعة جونز هوبكينز] مجموعة من الخلايا الجذعية السرطانية في الورم النقوي (الميلوما) المتعدد multiple myeloma.

وفي وقت مبكر من العام نفسه (2003)، نشرت مجموعتنا [من جامعة ميتشكان في أن آربر] الدليل الأول على وجود الخلايا الجذعية السرطانية في الأورام الصلبة، فباغتراس مجموعات خلوية من أورام الثدي البشرية في الفئران، كان باستطاعتنا أن نؤكد أنه ليس لجميع خلايا سرطان الثدي البشرية القدرة نفسها على توليد نسيج ورمي جديد. كانت هنالك مجموعة صغيرة واحدة فقط من الخلايا قادرة على إعادة تخليق الورم الأصل في البيئة الجديدة. عندئذ قارناً الطرز المظهرية، أو السمات الفيزيائية، لتلك الأورام الجديدة من عينات المرضى، فوجدنا أن سمات الأورام الجديدة تستعيد سمات الأصل. وتدل هذه النتيجة على استطاعة الخلايا المكونة للورم المغترسة أن تجدد نفسها وأن تنشئ أيضاً جميع المجموعات الخلوية المكونة للورم المختلفة الموجودة في الورم الأصل، بما في ذلك الخلايا غير المكونة للورم.

لقد وثقت دراستنا صحة وجود هرمية خلوية (سلسلة من الخلايا) داخل سرطان الثدي تماثل تلك التي تم التعرفها في سرطانات الدم ومنذ ذلك الحين، شهدت أبحاث بيولوجيا الخلايا الجذعية السرطانية توسعاً هائلاً، حيث تستمر المختبرات عبر العالم في العثور على مجموعات خلوية صغيرة مماثلة مكونة للورم في أشكال أخرى من السرطان. فمثلاً في عام 2004، تعرف مختبر «P. ديركس» [من جامعة تورنتو] خلايا

من أورام أولية في الجهاز العصبي المركزي للإنسان تمتلك القدرة على تجديد كامل الورم في الفئران إضافة إلى ذلك، وجد هذا الباحث عدداً كبيراً من الخلايا الجذعية السرطانية في واحد من أسرع أشكال سرطان الدماغ البشري نمواً. ونعني بذلك الورم الأرومي اللبي medulloblastoma، وذلك إذا ما قورن بخلايا مكونة للورم أقل عدداً بكثير، وتوجد في أنماط ورمية دماغية أقل ضراوة.

ويقدم أيضاً حقل له صلة بأبحاث مكثفة حديثة دعماً لطراز الخلايا الجذعية السرطانية وتظهر بيئة التأشير التي توجد بها الأورام أنها تؤثر بقوة في استئصال الخبائث وبقائها. وفعلًا أثبتت الدراسات على خلايا الجسم السوية، وكذلك على الخلايا الجذعية، الدور الأساسي للإشارات الصادرة عن النسيج المحيط، وعن المطرس^(١١) خارج الخلايا extracellular matrix. في الإبقاء على هوية نمط خلوي معين وفي توجيه سلوكه. فمثلاً، تميل الخلايا السوية التي أزيلت من بيئتها الطبيعية في الجسم إلى فقدان بعض خصائصها الوظيفية التمايزية، وبالمغايرة، فإنه يتعين زرع الخلايا الجذعية في وسط يزودها بإشارات تنبئها بالبقاء في حالة غير تمايزية، وإلا فإنها ستشرع بسرعة في التكاثر والتمايز في ما يبدو أنه تعبير عن فقدانها لسلوكها المبرمج، وإشارات العش (البيئة المحيطة) هي وحدها التي تنقيها مقيدة

وتكون بيئة الخلايا الجذعية في الجسم (على شكل غير محدد) محاطة بأنماط خلوية نوعية كـالخلايا السوية التي تكون النسيج الضام في نقي العظم، وبصرف النظر عن استثناءات قليلة، فإن الخلايا الجذعية تبقى دائماً في العش وأحياناً تتصل فيزيائياً بها عن طريق جزئيات التصاق ومن ناحية أخرى، تهجر الخلايا السليفة مبتعدة عن العش، وغالباً ما تكون برفقة خلايا حارسة، حيث ستصبح أكثر تمايزاً.

إن أهمية التأشير الصادر عن العش في الإبقاء على الخلايا الجذعية بحالة غير تمايزية، وفي الحفاظ عليها هاجعة quiescent حتى تتم دعوتها إلى إنتاج خلايا جديدة، توحى بأنه يمكن لهذه الإشارات البيئية الموضعية أن تمارس ضبطاً تنظيمياً مماثلاً على الخلايا الجذعية السرطانية فمثلاً، أوضحت تجارب مثيرة للاهتمام أنه عند زرعها في بيئة جديدة فإن الخلايا الجذعية المؤهبة للخباثة (للسرطنة) بسبب الطفرات الورمية، تفشل رغم ذلك في إنتاج ورم. وعلى العكس من ذلك فإن الخلايا الجذعية السوية التي اغترست في بيئة نسيجية سبق أن تضررت بالتشعيع كانت باعثة على تكوين أورام.

إن كثيراً من المسارات الجينية ذاتها التي تم التعرفها بالتأشير بين الخلايا الجذعية وبين عشها قد ترافقت مع السرطان، مما يوحي أيضاً بوجود دور للعش في التحول النهائي إلى الخباثة. فمثلاً، إذا ما احتجزت الخلايا الجذعية الخبيثة مقيدة في العش، ولكن تم بطريقة ما تحويل هذا العش وتوسيعه، فستجد جميعة الخلايا الجذعية

Centering Cancer Stem Cells (١١)

(١١) المطرس (الأمهة) خارج الخلايا هو المادة بين الخلوية أي التي تحيط بالخلايا في بعض النسخ وتفرز هذه المادة الخلوية نفسها - أو مجموعة الخلايا والأمهات matrix نحت من الأم mater. (١٢) تفيد تأكيدات التأشير (التحرير)

الخبئية متسعا تنمو فيه. وهناك احتمال آخر في أن طفرات جينية ورمية معينة داخل الخلايا الجذعية

إن تدمير المحرك الدافع للمرض يعني ترك الخلايا غير المكونة للورم تموت ذاتيا.

سرطانية يُعتقد أنها تسبب ابيضاض الدم النقوي الحاد (AML)، وأوضح أنه بالإمكان

استهداف الخلايا الجذعية السرطانية استهدافا تفصيليا بعقاقير نوعية. وفي عام 2005، نشرا اكتشافهما مركبا مشتقا من نبات الإقحوان (feverfew، يستحث الخلايا الجذعية المصابة بالابيضاض AML على الانتحار، في حين أنها لا تؤثر في الخلايا الجذعية السوية وتأمل بعض المجموعات البحثية في تدريب الخلايا المناعية لتتعرف الخلايا السرطانية وتسعى إليها. كما أن بعضها الآخر يستكشف استعمال العقاقير الموجودة لتحويل تأثير العنق (البينة) على أمل حرمان الخلايا الجذعية السرطانية من العوامل التي تساعدها على النماء وإضافة إلى ذلك، هناك فكرة هي حاليا قيد الاستقصاء، تتمثل في إمكان تطوير عقاقير لإجبار الخلايا الجذعية السرطانية على التمايز. وهذا يجردها من القدرة على التجدد الذاتي ويمثل الأمر الأكثر أهمية في أن الباحثين في نطاق السرطان هم حاليا في عنق قارورة الارتياح فيمقاربات تضامية غرضها استهداف مسارات جينية وحيدة في حفاظها على الخلايا الجذعية السرطانية، وفي تعطيلها للغة المتبادلة بين الخلايا الورمية وبينتها. نأمل أن نستطيع في القريب العاجل العثور على المتهم الحقيقي في السرطان وكبح نشاطه.

combination (10)

Closing in (10)

المؤلفان

Michael F. Clarke · Micheal W. Becker

عملا معا في مختبر «كلارك» بجامعة جيتنيسكان، حيث تم عام 2003 - أول مرة - عزل الخلايا الجذعية لورم الثدي «كلارك» هو حاليا مدير مساعد وكذلك أستاذ بيولوجيا السرطان والطب في معهد استنفورد للخلايا الجذعية والطب التجديدي (التخليقي) ويستمر في عمله على تعرف الخلايا الجذعية السرطانية وعلى الآليات التي تتجدد وفقا لها هذه الخلايا وكذلك الخلايا الجذعية السوية. أما «بيكر» فهو أستاذ مساعد في قسم علم الدم وعلم الأورام في المركز الطبي التابع لجامعة روشستر إن بؤرة أبحاث «بيكر» هي تعرف خصائص الخلايا الجذعية لأبيضاض الدم، وتتركز أعماله السريرية (الإكلينيكية) على الدم السطحي (المحيطي) peripheral وعلى اغتراس نقي العظم

مراجع للاستزادة

- The Reversal of Tumor Growth. Armin C. Braun in *Scientific American*, Vol. 213, No. 5, pages 75-83, November 1985.
- The Proteus Effect: Stem Cells and Their Promise for Medicine. Ann B. Parson. Joseph Henry Press, 2004.
- Context, Tissue Plasticity, and Cancer: Are Tumor Stem Cells Also Regulated by the Microenvironment? Mina J. Bissell and Mark A. LaBarge in *Cancer Cell*, Vol. 7, pages 17-23, January 2005.
- Leukaemia Stem Cells and the Evolution of Cancer-Stem-Cell Research. Brian J. P. Huntly and D. Gary Gilliland in *Nature Reviews Cancer*, Vol. 5, No. 4, pages 311-321, April 2005.
- Stem Cells and Cancer: Two Faces of Eve. Michael F. Clarke and Margaret Fuller in *Cell*, Vol. 124, pages 1111-1115, March 24, 2006.

Scientific American, July 2006

تقارب الاتجاهات

إن تضمينات طراز الخلايا الجذعية للسرطان في ما يتعلق بالطريقة التي نفهم بها ونعالج أيضا وفقا لها الخباثات جلية ودرامية. وتستهدف المعالجات الحالية أنواع الخلايا الورمية جميعها، ولكن دراستنا ودراسات أخرى أوضحت أن جزءا ضئيلا فقط من الخلايا السرطانية لديه القدرة على إعادة الإنشاء وعلى دوام الخباثة وإذا كانت المعالجات التقليدية تسبب انكماش الورم ولكنها تخطئ تلك الخلايا، فإن السرطان سيعود على الأرجح أما المعالجات التي تستهدف نوعيا الخلايا السرطانية الجذعية فقد تدمر المحرك الدافع للمرض. تاركا آيا من الخلايا المتبقية غير المكونة للورم لتموت في النهاية موتا ذاتيا

وفي الممارسة الطبية يوجد فعلا دليل ظرفي يدعم هذه المقاربة. فمثلا، بعد إجراء المعالجة الكيميائية للسرطان الخصية، يُفحص ورم المريض لتقييم تأثير المعالجة. فإذا ما احتوى الورم على خلايا ناضجة فقط، فإن السرطان عادة لا يعود، ولن تكون هناك حاجة إلى معالجات إضافية أما إذا كان هناك عدد كبير من الخلايا التي تبدو غير ناضجة - أي إنها ليست متميزة تماما - موجود في عينة الورم، فإن السرطان سيعود على الأرجح، وأن الإجراءية (البروتوكول) المعيارية تستدعي معالجة كيميائية إضافية. ولكننا مازلنا نفتقر إلى البرهان على أن هذه الخلايا غير الناضجة هي نسل حديث يدل على وجود خلايا جذعية سرطانية ولكن ترافق هذه الخلايا مع التكهّن بالمرض أمر واجب

بيد أنه لا يمكن تعرف الخلايا الجذعية بناء على مظهرها فقط لذا، فإن تطوير فهم أفضل للخصائص النوعية المتفردة للخلايا الجذعية السرطانية سيتطلب في المقام الأول تقنيات محسنة لعزل هذه الخلايا النادرة ودراستها. وما إن نفهم الخصائص المميزة لها، يمكننا استعمال هذه المعلومات لاستهداف الخلايا الجذعية السرطانية بمعالجات صُممت لها خصوصا وإذا كان على العلماء مثلا أن يكتشفوا الطفرة أو العامل البيئي المسؤول عن منح القدرة على التجدد الذاتي لنمط خاص من الخلايا الجذعية السرطانية، فإن ذلك سيصبح هدفا واضحا لتجريد تلك الخلايا المكونة للورم من خباثتها

وقد تم إيضاح هذه الاستراتيجية الواعدة بأمثلة مشجعة قدمها كل من (C. T. جوردان) و (M. L. كوزمان) [من جامعة روشستر] ففي عام 2002، تعرف هذان الباحثان سمات جزيئية متفردة لخلايا جذعية

خوض في الفضلات

نتيجة للتنمية العمرانية غير المدققة على طول السواحل الأمريكية،
تزايد تلوث الشواطئ ومهاد المحار بالميكروبات الممرضة.

(A. M. بالين)

أما في الولايات المتحدة فتتشأ المشكلة عن التنمية العمرانية التي تقتصر إلى الحكمة وليس عن الفقر فإنشاء العديد من البيوت والطرق ومراكز التسوق ومواقف السيارات أضرب بنظم الصرف الطبيعية في المناطق الساحلية، كما أن الفضلات التي كانت تقوم بتنقيتها في الماضي الغابات أو الأراضي الرطبة صارت حالياً تلوث مراسي السفن والشواطئ بشكل منتظم.

كيف يتسنى للولايات والمجتمعات الساحلية إذاً أن تحد من التلوث الميكروبي؟ لقد أدت هذه المسألة إلى صراعات بين شركات المقاولات والسياسيين من أنصار التنمية من جهة، والسلطات التنظيمية وصاندي المحار للأغراض التجارية والترويحية وهواة ركوب الأمواج والسباحة والغوص وأنصار الحفاظ على البيئة من جهة أخرى ومن حسن الحظ، أنه تتوافر بعض الحلول البترة لهذه المشكلة: إذ يمكن من خلال استراتيجيات «التنمية الذكية» إعادة تأهيل الشواطئ الملوثة مع تحقيق فوائد اقتصادية في الوقت نفسه. ونظراً إلى أن الإغلاق المتكرر للشواطئ يمكن أن يقلص من حركة السياحة ويؤدي إلى انخفاض أسعار العقارات، فإن تطبيق ضوابط معقولة للتنمية العمرانية للمناطق الساحلية يمكن أن يعزز اقتصاد المناطق الساحلية وأن يحقق بنفس

من شواطئ المحيطات والمياه العذبة، أو نحو ثلث العدد الإجمالي للشواطئ التي يرصدها موظفو الصحة بصورة منتظمة وقد ارتفع العدد الكلي للأيام التي صدرت بشأنها إجراءات تنظيمية للشواطئ بنسبة 9 في المئة عما كان عليه في عام 2003 (الذي كان بدوره أعلى بنسبة 50 في المئة من العدد الإجمالي في عام 2002، مع أن هذه الزيادة الكبيرة كانت ترجع في جانب منها إلى تغيير قواعد الرصد الفدرالية)، وكان السبب في إصدار 85 في المئة من أوامر الإغلاق والتحذيرات من التلوث هو اكتشاف أعداد زائدة من بكتيريا البراز في مياه الشواطئ.

وعند انتقالها في اتجاه أدنى المجرى مع فضلات الحيوانات في مياه سيل من الأمطار الغزيرة الجارية فوق سطح الأرض أو مع فضلات الإنسان في طفق المجاري والمواد المتسربة من خزانات التعفين، فإن الميكروبات المحمولة بالمياه قد تسبب أمراض الكبد وعداوى (أضماح) الجهاز التنفسي والاضطرابات المعوية المعوية التي قد تؤدي إلى الوفاة وتشتيع هذه الأمراض في بلدان العالم الثالث بسبب سوء الصرف الصحي

طالما جذبت السواحل الأمريكية المتعرجة الرائعة السكان في هذا البلد. ولعل أبلغ وصف لهذه الجاذبية التي لا تقاوم هو وصف «H. ميلفيل» في مقدمة رواية «موبي ديك» «لن يرضيهم شيء إلا الوصول إلى أقصى حدود الأرض... فلا بد أن يقتربوا من المياه بقدر ما يمكنهم من دون أن يسقطوا فيها» وفي السنوات الأخيرة، انتقل ملايين الأمريكيين إلى المناطق الساحلية، وبخاصة في الجنوب الشرقي، للتمتع بمناخها المنعش وفرص الترويح التي تتيحها وجمالها الطبيعي ومن المؤسف أن حركة التنمية العمرانية السريعة التي تقتصر إلى التخطيط الجيد تفسد هذا الجمال إلى حد كبير. لقد تسببت أحياء ميكروبية ممرضة مصدرها فضلات الحيوانات والناس في تلوث أعداد متزايدة من الشواطئ ومهاد المحار على طول الساحل.

وطبقاً لتقرير صدر حديثاً عن مجلس الدفاع عن الموارد الطبيعية، أصدرت الولايات الساحلية، في عام 2004، أوامر بإغلاق الشواطئ وتحذيرات من التلوث استمرت لمدة 19 950 يوماً وأثرت في 1234

نظرة إجمالية/ التلوث الميكروبي

- بسبب ازدهار حركة التنمية العمرانية في المناطق الساحلية بالولايات المتحدة، صار جزء كبير من المنطقة القريبة من الساحل مغطى بسطوح كثيفة⁽¹⁾، كمواقف السيارات والطرق والأرصفة. وعندما تسقط الأمطار فإنه يمكن لمياه السيول المتدفقة فوق هذه السطوح أن تحمل معها براز الحيوانات والميكروبات المصاحبة له إلى قنوات الصرف التي تؤدي مباشرة إلى البحيرات والأنهار والشواطئ.
- التلوث ببكتيريا البراز هو السبب الرئيسي في إغلاق الشواطئ وإصدار التحذيرات التي تؤثر حالياً في ثلث مجمل شواطئ البلد التي يتم رصدها. كما تهاجم الميكروبات الخطرة بصورة وبائية مراسي السفن والخيران المذية⁽²⁾ ومهاد المحار.
- لمكافحة التلوث الميكروبي، تستطيع المجتمعات الساحلية تشجيع الحفاظ على المساحات الخضراء، وتركيب المرشحات في مصارف مياه الأمطار، وحظر إنشاء خزانات التعفين⁽³⁾ في المناطق ذات التربة المسامية.

القدر الحماية للصحة العامة

WADING IN WASTE (1)
Overview: Microbial Pollution (2)

beds (3) ح مهد، مكان النوم

(4) النسبة للأمراض

microorganisms (5) أو مجهرية

(6) جمع بكثرة

wetlands (7)

impervious (8) لا يتغلغل منها الماء

tidal creeks (9) ح خور، أو خليج صغير

septic tanks (10)



تتعرض صحة رواد الشواطئ وصائدي المحار في الولايات المتحدة للخطر من مكثبات البراز^(١) مصدرها فضلات الإنسان والحيوان، إذ تنتقل الميكروبات الممرضة، مثل الإشريكية القولونية، من مناطق النوسع العمراني التجارية والسكنية إلى المياه الساحلية بواسطة مياه الأمطار الجارية القادمة من تلك المناطق وعن طريق التسرب من نظم خزانات التخزين المبنية في أمكنة غير ملائمة

ازدهار السواحل^(٢)

ذكرت الإدارة الوطنية لشؤون المحيطات والغلاف الجوي في تقريرها عن الاتجاهات الساحلية^(٣) في عام 2004، أن 153 مليون أمريكي - أو 53 في المئة من سكان البلد - يعيشون في المقاطعات التي تحدها سواحل المحيط والبحيرات العظمى والتي تشكل 17 في المئة فقط من مساحة الأراضي القارية في الولايات المتحدة [انظر الإطار في الصفحة 33]. والأدهى من ذلك أن هناك سبعة ملايين شخص آخرين يتوقع انضمامهم إلى سكان السواحل بحلول عام 2008، ويزداد العدد الإجمالي موسمياً بسبب الأعداد الهائلة من المصطافين. لقد تحولت مساحات شاسعة كانت في الماضي غابات أو مزارع إلى منتجعات وتقسيمات من الأراضي المخصصة للأغراض السكنية ومحلات تجارية ومطاعم ومجمعات إدارية وأراضٍ للأغراض الصناعية ممتدة على طول الشاطئ. وفي غمار ذلك، تقوم شركات الإنشاء، بتجفيف الأراضي الرطبة وتغطية أراضي، كانت تفسدها الخضرة في الماضي، بالأسفلت والخرسانة والمواد المستخدمة في بناء المساكن.

والمنظر الطبيعي الناتج من ذلك تغلب عليه السطوح الكتيمة كمواقف السيارات والطرق والأرصفة وأسقف المباني ومواقع الإنشاء المكسدة بالمعدات الثقيلة التي لا تسمح بتخلل المياه فيها. وعند هطول الأمطار، تتدفق مياه السيل من تلك الأمطار فوق هذه السطوح وتجرف في طريقها روث الحيوانات والملوثات الأخرى ليلقى بها في مجاري الصرف أو مصارف مياه الأمطار، التي يؤدي الكثير منها مباشرة إلى البحيرات الحضرية^(٤) أو الخيران (الخلجان الصغيرة) أو الساحلية أو الشواطئ. وفيما تعمل محطات معالجة مياه المجاري على التخلص من البكتيريا والملوثات الضارة الأخرى الناشئة عن الصرف، فإن مياه

يسل الجارية على السطح لا تعالج عادة ونظراً إلى أن هذه المياه تأتي من مساحة واسعة وليس من مصدر واحد، فإنها تصنف كمصدر تلوث غير ثابت. وقد أعلنت وكالة حماية البيئة أن هذا النوع من التلوث هو أهم الأسباب المتبقية للمشكلات المتعلقة بجودة المياه في الولايات المتحدة وتحمل مياه السيول الجارية الأسمدة ومبيدات الآفات والمعادن الموزرة^(٥) والكيميائيات. ولكن الخطر الأكبر على صحة الإنسان يأتي من الميكروبات الممرضة: بكتيريا وفيروسات وبروزيات^(٦) البراز. إذ يُقدَّر أن غراماً واحداً من براز الكلب، مثلاً، يحتوي على عدد يصل إلى ثلاثة وعشرين مليون بكتيرة (وبالنسبة إلى أنواع معينة من البكتيريا الخطرة، فإنه يمكن لعدد ضئيل

يصل إلى عشرة فقط من هذه الكائنات الحية أن يتسبب في الإصابة بالعدوى). وتتلقى مستجمعات مياه الأمطار في المناطق العمرانية والضواحي دفقاً ثابتاً من روث الحيوانات المنزلية كالكلاب والقطط ومن الحيوانات البرية كالراكون والسنجاب. وفي المناطق المزروعة، تتسرب مياه الأمطار والمياه الجارية على السطح خلال التربة، ويؤدي ذلك إلى تنقية المياه من بكتيريا البراز والفيروسات، ومن ملوثات أخرى كثيرة وخلافاً لذلك، فإن السطوح الكتيمة تسبب

(١) The Coastal Boom (٢٠٠٤)

(٢) الناشئة عن البراز

(٣) Coastal Trends Report (٢٠٠٤)

(٤) urban

(٥) heavy metals

(٦) أو الأولي أو الحيوانات الرضعية الصلبة

لا تشرب هذه المياه

في السنوات الأخيرة، تسبب كثير من هذه الميكروبات في تفشي أمراض خطيرة في الولايات المتحدة وكندا ففي عام 1993، أصابت برزويات داء البويغات الخفي مياه شبكة الشرب في ميلووكي بالعدوى، وأدى ذلك إلى وفاة أكثر من مئة شخص وإصابة 400 000 شخص بالأمراض وفي عام 1999، نتجت من تفشي الإشريكية القولونية والبكتيريا الحلزونية (الكامبيلوباكتري) حالات وفاة و 116 إصابة بالأمراض بين زوار المعرض

بيانات واردة من خمس مقاطعات ساحلية بولاية نورث كارولينا واكتشف وجود ارتباط قوي بين الزيادة في عدد السكان وإغلاق مهادر المحار. ففي عام 1984، عندما بلغ عدد السكان في المقاطعات الخمس 125 352 نسمة، تم إغلاق 275 35 فداناً من المياه التي يعيش فيها المحار. وبحلول عام 2003، ارتفع عدد سكان المقاطعات الخمس مجتمعة إلى 501 596 نسمة وبلغت المساحة المغلقة 42 304 فدادين.

ويشكل التلوث الميكروبي أيضاً خطراً شديداً على الأشخاص المشتغلين بالأنشطة الترويحية الشائعة، كالسباحة وركوب الأمواج والخوض

في تراكم الملوثات أثناء فترات الجفاف وتدفق تركيزات عالية من الملوثات مع مجرى المياه عندما تهطل الأمطار. وتصبح المشكلة مثيرة للقلق بشكل خاص على طول الساحل لأن الميكروبات تلوث مهادر المحار والمناطق المستخدمة للترويح. والمحار من الكائنات التي تتغذى باستخلاص غذائها من المياه بالترشيح. أي إنه يصفى من جسمه كميات كبيرة من مياه البحر لتركيز المواد الغذائية كالمطحالب المجهرية ولكنه في الوقت نفسه يركز الكائنات الضارة الموجودة في المياه. وإذا أكل الإنسان محاراً نيئاً أو غير مطبوخ طبخاً جيداً، وكان تم استخراجه من مياه

يرجع السبب في 85 في المئة من أوامر إغلاق الشواطئ والتحذيرات بشأنها إلى اكتشاف أعداد كبيرة من بكتيريا البراز.

في مقاطعة واشنطن بنيويورك بعد أن شربوا مياه سيل ملوثة مصدرها مخزن غلال للماشية. وفي عام 2000، وقع سكان ووكرتون في أونتاريو ضحية لعدوى بالإشريكية القولونية والبكتيريا الحلزونية تسببت في إصابة 2300 شخص بأمراض وحدوث سبع وفيات، معظمهم من كبار السن والأطفال الرضع. ومرة أخرى تم تتبع التلوث حتى مصدره وهي مياه سيل محملة بالميكروبات تدفقت من مخزن علف للماشية ودخلت إلى مأخذ إمداد مياه الشرب في المدينة.

ويقوم موظفو الصحة بقياس تركيزات مؤشرات بكتيرية متنوعة لتقييم الخطر الناتج من الكائنات المرضية التي تحملها المياه، وبخاصة في جوار الشواطئ وعندما ترتفع أعداد البكتيريا فوق حد معين، تصدر السلطات تحذيرات من تلوث المياه أو تغلق الشواطئ أمام السباحة والأنشطة الترويحية الأخرى. وتوصي وكالة حماية البيئة بأن تستخدم الولايات بكتيريا المكورات المعوية كمؤشر لسلامة مياه المحيط والخلاجان^(١). وبموجب معايير وكالة حماية البيئة، تعتبر مياه البحر غير مأمونة إذا زاد الوسط الهندي لخمس عينات من المكورات المعوية جمعت في

في المياه والغطس والغوص بالأنبوب والتزلج على المياه ورياضة الزوارق. وإذا لوثت الكائنات الحية الموجودة في البراز بحيرة أو نهراً أو شاطئاً بحراً، يصبح أي شخص في المياه عرضة للإصابة بالعدوى من الميكروبات التي تدخل من خلال الفم أو الأنف أو العينين أو الجروح غير الملتئمة. ومن الأمراض التي تسبب فيها ملامسة المياه التهاب المعدة والمعى والتهاب ملتحمه العين والتهاب النسيج الخلوي (تفجج البشرة، كالحكة التي يصاب بها السباحون)، والتهابات الأذن والجهاز التنفسي، وأمراض أكثر خطورة كالتهاب الكبد ومتلازمة حيلان بارية، وهي خلل التهابي يصيب الأعصاب الطرفية ويمكن أن يؤدي إلى الشلل. ومن أنواع البكتيريا التي تحملها المياه والتي يمكن أن تسبب في هذه المشكلات الصحية الإشريكية القولونية *Escherichia coli* والمطثيات الحاطمة *Clostridium perfringens* وأنواع مختلفة من المكورات المعوية *Enterococcus* والبروموناس *Aeromonas* والبكتيريا الحلزونية (الكامبيلوباكتري) *Campylobacter* والسلمونلة *Salmonella* والشيكلية *Shigella* والبريسينيا *Yersinia*. ومن الفيروسات الكثيرة التي تحملها المياه وتسبب في الأمراض فيروس التهاب الكبد *A* ونوروك *Norwalk*. وتشمل البرزويات المرضية داء البويغات الخفي *Cryptosporidium* والأميبية الباطنة *Entamoeba* والجيارديا *Giardia*.

ملوثة بميكروبات البراز، فإنه يعرض نفسه لخطر الإصابة بالتهاب المعدة والمعى (وهو مرض من أعراضه القيء والإسهال والام المعدة) وأمراض قاتلة أكثر حدة.

ولحماية المستهلك المحار، يُطلب إلى الوكالات الحكومية وضع لوائح في مهادر المحار الملوثة لإعلام الجمهور أن صيد البطليونس (أم الخلول) أو بلع البحر أو محار الجندفلي في هذه المناطق مخالف للقانون. وقد وضعت دائرة الصحة العامة بالولايات المتحدة معياراً وطنياً لسلامة مهادر المحار باستخدام مقاييس لبكتيريا البراز القولونية، وهي فئة عريضة من الأحياء الميكروبية توجد في أمعاء الإنسان والحيوان. فلا يجوز صيد المحار من المنطقة إذا زاد الوسط الهندسي^(٢) لعدد البكتيريا في 30 مجموعة من العينات على 14 وحدة من الوحدات المكونة للمستعمرات في كل 100 مليلتر من مياه البحر. وفي عام 1995، وهو آخر عام أعدت فيه الإدارة الوطنية لشؤون المحيطات والغلاف الجوي سجلاً وطنياً للمحار^(٣)، كان صيد المحار مقيداً أو محظوراً في 31 في المئة من أماكن نمو المحار في الدولة. وقد ذكرت الإدارة في تقرير رسمي لها أن مياه السيل الجارية في المناطق العمرانية هي أكثر مصادر التلوث التي تغزو مهادر المحار.

وفي الأونة الأخيرة، قام المختبر الذي أعمل به في جامعة نورث كارولينا، بتحليل

(١) Don't Drink the Water

(٢) geometric mean: هو نوع من المتوسطات يحدس من

تأثير القيم المنخفضة

(٣) national shellfish register

bays

(التحضير)

انتقال ميكروبات البراز

مما يسمح بتسرب ميكروبات البراز إلى المياه الجوفية. وعادة ما تؤدي عمليات تربية الماشية الواسعة النطاق إلى نشر روث الحيوانات في الحقول أو تخزينه في أحواض خاصة. وقد تجرف الأمطار الغزيرة هذه الفضلات إلى الأنهار القريبة. وغالبا ما تدمر عمليات الإنشاء الجديدة الأراضي الرطبة التي تقوم بتنقية المياه من الكائنات الحية المفترسة قبل أن تتمكن من الوصول إلى الشواطئ ومهاد المحار.

إن سوء التخطيط العمراني هو السبب الرئيسي للتلوث الميكروبي في المناطق الساحلية. وعلى سبيل المثال، فإن غالبية مراكز التسوق محاطة بمساحات كبيرة من مواقف السيارات التي توجه مياه السيول الجارية المملة بالفضلات إلى قنوات الصرف. وفي كثير من المناطق العمرانية السكنية الساحلية، تتدفق مياه المجاري المندفعة من خزانات التعفين عبر طبقات من الحجر الجيري المشقق أو التربة الرملية



تتجه نحو التحضر العمراني في المقاطعة. وقمنا بتحليل أكثر من 1000 عينة من بكتيريا البراز القولونية والإشريكية القولونية. أخذت من جميع مناطق الخيران، وبحسنا عن ارتباطات بين أعداد البكتيريا والسمات المختلفة لستجمعات مياه الخيران من حيث ديموغرافيتها. ومناظرها الطبيعية. وقد وجدنا أن متوسط أعداد بكتيريا البراز القولونية كان أعلى بشكل عام في الخيران التي يعيش حولها عدد أكبر من الأشخاص والتي توجد حول مستجمعاتها.

FECAL MICROBES ON THE MOVE (١٠)
Up the Creek (١١)

(١) الكثافة السكانية فيها

أعلى الخور

درس الباحثون الأضرار البيئية الناتجة من التغطية بالسطوح الكريمة منذ أواخر الثمانينات، ولكن المختبر الذي عمل به كان أول من درس تأثيرها في أعداد بكتيريا البراز. وتركزت دراستنا على مقاطعة نيو هانوفر وهي منطقة سريعة النمو في نورث كارولينا. ففيما بين عامي 1990 و 2000 زاد عدد السكان في المقاطعة بنسبة 25 في المئة، ومن المتوقع أن يزيد هذا العدد أيضا بنسبة 31 في المئة بحلول عام 2020. وفي العقد الماضي، قام فريق البحث التابع لي بدراسة جودة المياه في ستة خيران مدينة في مناطق

30 يوما على 35 وحدة مكونة للمستعمرات في كل 100 مليلتر أو إذا زادت أي عينة فردية عن 104 وحدات مكونة للمستعمرات في كل 100 مليلتر. وفي المياه العذبة تصل الحدود التي قررتها وكالة حماية البيئة لمتوسط التركيزات إلى 33 وحدة مكونة للمستعمرات في كل 100 مليلتر فيما يتعلق بالمكورات المعوية وإلى 126 وحدة مكونة للمستعمرات في كل 100 مليلتر فيما يتعلق بالإشريكية القولونية. ولكن هذه المعايير ربما تتسم بقدر مبالغ فيه من التساهل. وقد قدرت وكالة حماية البيئة أن السباحة في وجود الحد الأقصى للأعداد المقبولة سوف تتسبب في إمرض 2 في المئة من المستجمين.

المائية نسبة مئوية أعلى من الأراضي العمرانية. ولكن أعداد البكتيريا كانت ترتبط ارتباطاً قوياً بانتشار السطوح الكتيمة. ففي خور فانتش - حيث تغطي السطوح الكتيمة 7 في المئة فقط من الأراضي - كان متوسط عدد البكتيريا القولونية 12 وحدة مكونة للمستعمرات في كل 100 مليلتر. في حين وصل العدد إلى أكثر من سبعة أضعاف هذه القيمة في خور برادلي - حيث يغطي الأسفلت والخرسانة 22 في المئة من مستجمعات المياه [انظر الإطار في الصفحة 34]. كما كان الارتباط قوياً جداً بين أعداد الإشريكية القولونية والنسبة المئوية للسطوح الكتيمة حول مستجمعات المياه. ولم تكن

والربط بالتربة يحمي البكتيريا من الأشعة فوق البنفسجية التي تقتل الكائنات الحية عادة كما تستطيع البكتيريا الحصول على العناصر المغذية من مثل الكربون والنيتروجين والفسفور من حبيبات التربة. ويمكن أن تجد الميكروبات وسائل انتقال غير مسافات طويلة باتجاه مجرى النياه مع الرواسب. وفي دراستنا للخيران المدية في مقاطعة نيو هانوفر، وجدنا ارتباطاً مهماً إلى درجة كبيرة بين العكارة (التكر) ووفرة بكتيريا البراز القولونية. وأسفرت دراسات أخرى أجريت في خليج تشيسابيك (بغرب فلوريدا) وساحل البحر الأبيض المتوسط وأستراليا عن نتائج مماثلة

الرمال ومياه الصرف الصحي لا يختلطان

يمكن أن تسهم نظم الصرف الصحي الرديئة التصميم في الأقاليم الساحلية أيضاً في التلوث الميكروبي. وفي المجتمعات المحلية التي يتم فيها تصريف مياه الأمطار في البوعات الصرف. يمكن أن تتسبب الأمطار الغزيرة في تدفقات زائدة تلقي بمياه فضلات الإنسان غير المعالجة في الأنهار والبحيرات والخلجان. وتعالج بلديات كثيرة هذه المشكلة حالياً بالفصل بين شبكات المجاري ونظم صرف مياه الأمطار. ولكن ثمة مشكلة أخرى بدأت تظهر في المناطق الساحلية، حيث لا يجد السكان وصلات للصرف فيضطرون إلى

من الممكن أن تنتقل ميكروبات البراز القادمة من خزانات التعفن، في منطقة فلوريدا كيز في أقصى جنوب شبه جزيرة فلوريدا، إلى المياه الساحلية في غضون ساعات.

النتيجة التي توصلنا إليها مختلفة عما توصل إليه الآخرون. وفي وقت لاحق، أبلغ (F. A. هولاند) و (M. D. سانجر) وزملاؤهما [في مصلحة الموارد الطبيعية بساوث كارولينا] عن وجود ارتباط مهم بين أعداد بكتيريا البراز القولونية والمساحة المغطاة بالسطوح الكتيمة في المستجمعات المائية لاثنتين وعشرين خوراً مدياً في المنطقة المحيطة بالعاصمة شارلستون.

وتشير هذه النتائج إلى أن مياه السيل القادمة من المناطق العمرانية قد يكون لها تأثير مضاعف في تركيزات البكتيريا في اتجاه مجرى المياه فالتدفقات العالية بشكل غير عادي والقادمة من مواقف السيارات الكبيرة أو تقسيمات الأراضي قد تسبب حث (تاكل) قنوات الصرف وضفاف الأنهار، ومن ثم حمل الرواسب العالقة إلى المياه. كما أن هذه الرواسب تنجرف بسهولة من مواقع البناء، حيث تكون التربة قد تعرت من النباتات وتغيم الرواسب العالقة والجزئيات الأخرى المياه التي تستقبلها (ويطلق على درجات التغيريم «العكارة»). والأدهى من ذلك أن الرواسب، وبخاصة الرواسب الطينية، يمكن ربطها فيزيائياً وكيميائياً بملوثات كالأمونيوم والفسفات والمعادن النزرة وبكتيريا البراز والفيروسات

وتوافر الرواسب القاعية في المياه الساحلية الضحلة أيضاً حوضاً لتجميع بكتيريا البراز والميكروبات الأخرى وقد وجد فريق بحث يرأسه (B. L. كاهون) [وهو زميلي في جامعة نورث كارولينا في ولينجتون] تركيزات عالية من الكائنات الحية الممرضة - تشمل بكتيريا البراز القولونية والمكورات المعوية enterococci والمكورات العقدية (البكتيريا السبحية) streptococci في رواسب الخيران المدية وتستطيع الميكروبات البقاء فترات طويلة في الرواسب. لأنها تكون في مأمن من الأشعة فوق البنفسجية وتجدها غذاءً بسهولة ونظراً إلى ضحالة الخيران المدية بشكل عام، فإن إثارة الرواسب الموجودة في القاع عند ملامسة الإنسان لها يمكن أن تؤدي إلى تعلق أعداد كافية من البكتيريا في المياه بما يتجاوز معايير السلامة. فمن السهل أن تتسبب حركة الرياح أو خوض الأطفال والحيوانات الأليفة في المياه في تلوث هذه المياه بمجرد سلامسة الاقدام للقاع الطيني للخور وإضافة إلى ذلك، وجد الطلبة العاملون معنا تركيزات عالية من ميكروبات البراز في الرواسب القريبة من عدد من المراسي العامة للزوارق. وتوجد هذه المراسي في كل مكان وتستخدم بكثرة في الأقاليم الساحلية في الجنوب الشرقي.

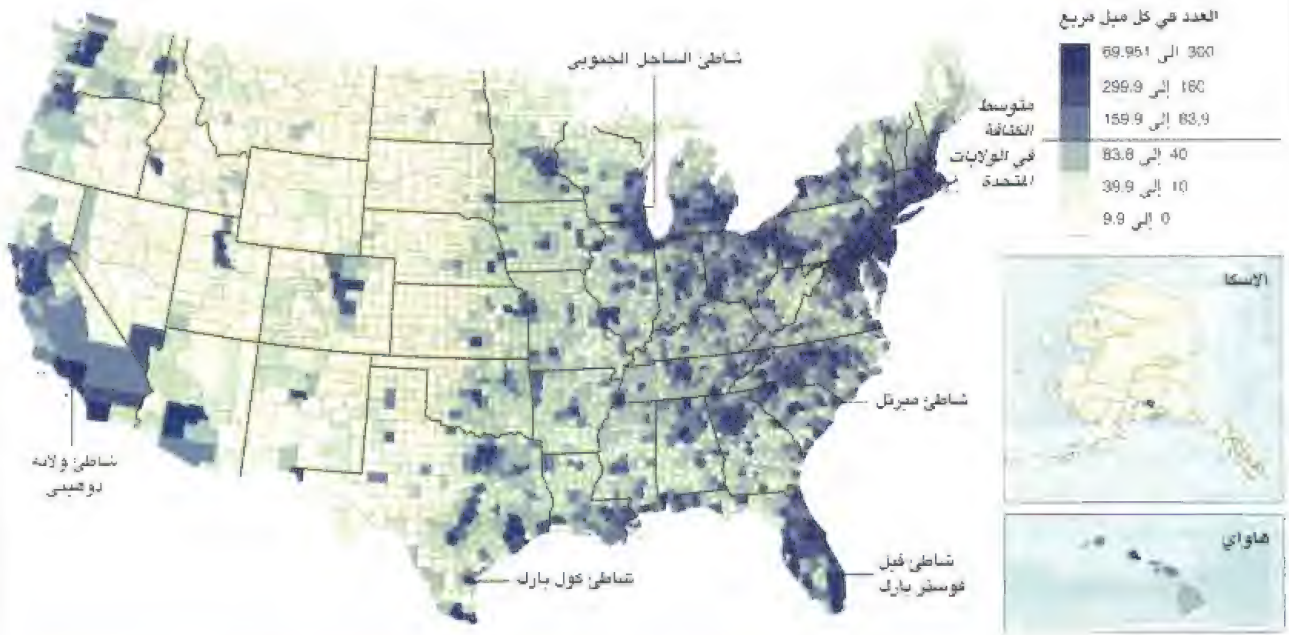
إلغاء فضلاتهم في خزانات التعفن. ومن هذه المناطق منطقة فلوريدا كيز التي يوجد بها أكثر من 25 000 خزان من خزانات التعفن. والشكل السائد لسطح الأرض في هذه المنطقة هو طبوغرافيا الكهوف - فالتربة تحت الأرض تتكون أساساً من الحجر الجيري، الذي تتخلله شقوق كثيرة وفجوات غائرة ناتجة عن التحات وهذا التكوين الجيولوجي شديد المسامية ولذلك فإنه لا يساعد على الترشيح الفعال لمياه الفضلات الغنية بالبكتيريا المتدفقة من خزانات التعفن. وفي عام 1995، وجد فريق بحث يرأسه (B. L. بول) و (B. روز) [من جامعة ساوث فلوريدا] أن ميكروبات البراز القادمة من نظم خزانات التعفن في منطقة فلوريدا كيز تنتقل بسهولة خلال التربة. ويمكن أن تصل إلى المياه الساحلية بالقرب من الشاطئ خلال ساعات

ولا تقتصر المشكلة على منطقة فلوريدا كيز وحدها فالتربة الرملية على طول الساحل تتخللها فضوات (أحياناً كبيرة نسبياً بين حبيبات الرمل وعندما تتشبع هذه التربة بالمياه يمكن للبكتيريا والفيروسات أن تنتقل بسهولة خلالها وعلى سبيل المثال، فإن المناطق التي تحتوي على تربة رملية ويرتفع فيها

الشواطئ الأمريكية الملوثة^(١)

المستوى الوطني] وكانت أعلى الأعداد المسجلة في كل شاطئ يزيد كثير عن معايير السلامة في غرادي العذبات من المكورات العوية والاشريكية القولونية حيث سجلت على التوالي 104 وحدات و235 وحدة مكورة للمستعمرات في كل 100 ميل.

في الولايات المتحدة، إن أكثر الشواطئ والخلجان تلوثا تقع بشكل عام في المقاطعات الساحلية الكثيفة السكان. وقد أدى التلوث البكتيري إلى إغلاق مناطق الموضحة أدناه أو إصدار تحذيرات بشأنها في عام 2004 [آخر عام توافرت عنه السجلات على



موقع الشاطئ	نوع البكتيريا المقيس	أعلى عدد من الوحدات المكونة للمستعمرات في كل 100 ميلتر	عدد أيام الإغلاق والتحذيرات
شاطئ ولاية دوهيني مقاطعة أورانج، كاليفورنيا	المكورات العوية	38,800	312
شاطئ فيل فوستر بارك مقاطعة بالم بيتش، فلوريدا	المكورات العوية	600	108
شاطئ الساحل الجنوبي مقاطعة ميلووكي، ويسكونسن	الاشريكية القولونية	2,419	72
شاطئ ميرتل مقاطعة هوري، ساوث كارولينا	المكورات العوية	1,130	54
شاطئ كول بارك مقاطعة نوبيس، تكساس	المكورات العوية	14,400	53

المصدر: مكتب الإحصاء، (التعداد) الرسمي بالولايات المتحدة (الخريطة) وكالة حماية البيئة الأمريكية مجلس النقاء عن الموارد الطبيعية برنامج حماية مياه المحيط بمقاطعة أورانج مكتب صحة الشواطئ نوبيسكونسن والأراضي العامة نيكاس (الحدود)

نمو) المحار وقد حدد باحثون آخرون أنماطا مميزة لشدة التلوث الميكروبي حيث توصلت إلى «ليب» [التي تعمل في جامعة جورجيا] وزملاؤها إلى أن أعداد بكتيريا البراز في الخليجان والروافد، التي تطل عليها مجتمعات ساحل خليج فلوريدا كمدينة شارلوت وخليج ساراسوتا تزيد زيادة

AMERICA'S SULLIED BEACHES...
Gulf of Mexico

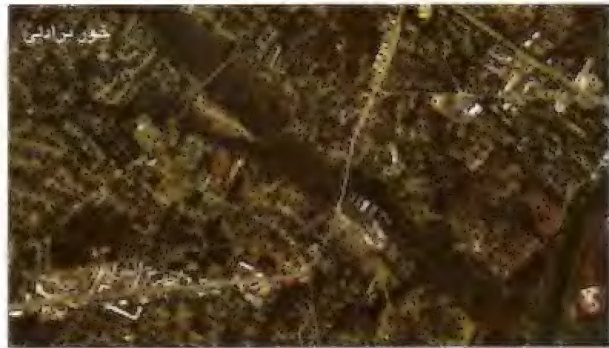
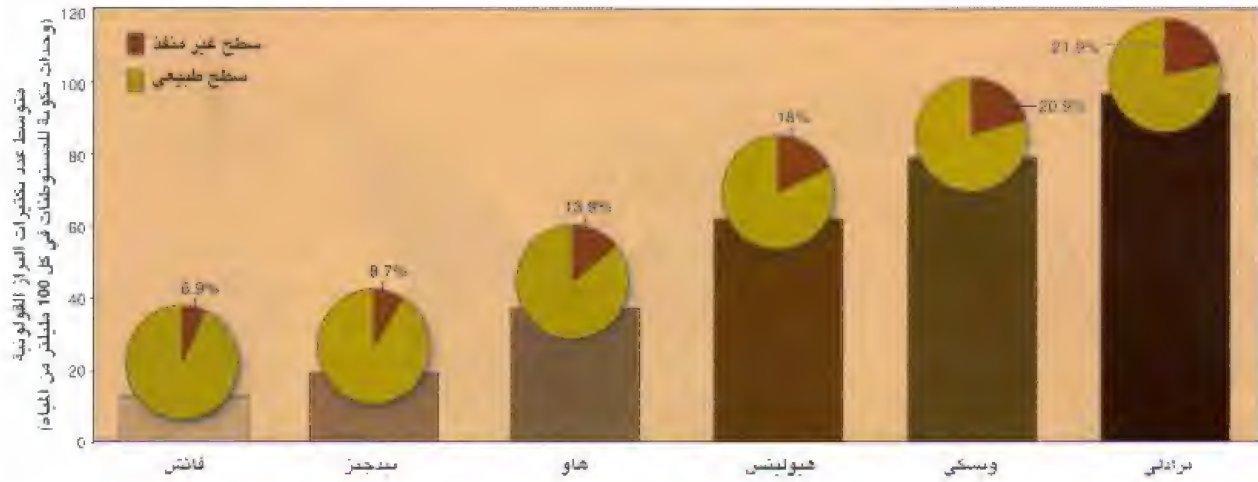
الرملية (ويصل عددها إلى 20 خزانة في كل هكتار)، وجد «كاهون» أعدادا كبيرة من بكتيريا البراز القولونية الناشئة عن المواقع الكثيفة السكان في المياه العذبة ومياه البحر باتجاه مجرى أنياه والأدهي من ذلك، يبدو أن نظم القنوات وشبكات المجاري التي تخدم المناطق العمرانية تسهل، فيما يبدو، تصريف بكتيريا البراز في المياه القريبة، بما في ذلك مياه (امكنة

منسوب المياه الجوفية لا تناسب نظم خزانات التعفين. ومع ذلك فإن سوء التخطيط سمح بوجود هذه النظم في أقاليم ساحلية كثيرة سريعة النمو، تشمل بعض الجزر الرملية الحاجزة (العائقة) على طول سواحل الأطلسي وخليج المكسيك وفي دراسة عن جودة المياه في مقاطعة برونزويك في نورث كارولينا، التي يوجد بها كثير من خزانات التعفين في التربة

تأثيرات الخرسانة والأسفلت^(١)

البسار)، حيث تغطي السطوح الكثيفة أقل من 7 في المئة من مستجمع المياه. كان متوسط أعداد بكتيريا البراز القولونية أقل بكثير منه في خور برانلي (في اليسار)، حيث تغطي الخرسانة والأسفلت أكثر من خمس المنطقة المحيطة

ووجدت دراسة لسنة خيران مديّة في مقاطعة بوهانوفر، مورت كارولينا ارتباطاً قوياً بين التلوث الميكروبي وانتشار السطوح الكثيفة. كمواضع السيارات والطرق والأرصفة وفي خور فانتش الذي صارال على حاله الطبيعية الأولى نسبياً (في



الفضلات القادمة من مزارع الماشية وفي السهل الساحلي^(٢) الممتد من ماريلاند إلى فلوريدا وفي بعض مناطق الساحل المطل على الخليج، حلت محل معظم مزارع الماشية التقليدية منشآت صناعية عملاقة تربي فيها أعداد هائلة من الخزائير والدواجن والماشية في أمكنة محكمة الإغلاق وتتخلص هذه المنشآت من كميات الروث الهائلة إما برشها كسائل أو نشرها كفضلات على الحقول القريبة. وإذا تم الرش أو النشر قبل وقت قصير من هبوب عاصفة مطيرة أو أثناءها، يمكن أن تنتقل ميكروبات البراز من الفضلات إلى الجداول القريبة عن طريق مياه السيول القادمة من البر

المناطق العمرانية إلى المحيط الهادئ، وجدت <R> نويل< [من جامعة نورث كارولينا في تشابل هيل] وزملاؤها أن امتداد خط الساحل الذي لا تنطبق عليه معايير السلامة كان أكبر عشرة أضعاف بعد هطول الأمطار مما كان عليه في فترات الجفاف. وعلى المستوى الوطني، تُغلق مهاد المحار بصورة يلية لعدة أيام أو أسابيع بعد هطول الأمطار. لأن هذه المناطق تكون عرضة للتلوث البكتيري من مياه السيول الجارية

ولكن مياه السيول المتدفقة من المناطق العمرانية والمواد المتسربة من خزانات التعفين ليستا دائما المتهمين الرئيسيين بالتلوث الميكروبي فالعامل الرئيسي في المناطق الريفية الساحلية التي يكون الصرف فيها في الجداول المائية هو

حادثة مع المد المتجه إلى الخارج وتنتقل الميكروبات بسهولة خلال التربة المشبعة الرملية التي تحيط بحقول خزانات التعفين الكثيرة إلى الخيران القريبة لتتصرف في الخلجان وهذا النمط لا يرتبط بالمد فحسب، بل يتغير بتغير الأحوال الجوية أيضا واكتشف الباحثون أنه في السنوات المطيرة التي توافق حدوث ظاهرة النينو المناخية تكون المياه في خليج تامبا أكثر ثلوثا بدرجة كبيرة ببكتيريا البراز والفيروسات منها في السنوات الجافة وهذا التأثير هو نتيجة زيادة مياه السيول الجارية على السطح وحركة المياه الجوفية خلال التربة المشبعة حول خزانات التعفين الواقعة في أمكنة غير مناسبة

وفي كاليفورنيا الجنوبية، حيث تندفق كميات كبيرة من مياه السيول القادمة من

THE EFFECTS OF CONCRETE AND ASPHALT (١)
coastal plain ١

من الواضح أنه لحماية مياه أمريكا الساحلية، يتعين على شركات المقاولات والبناء الإقلاع عن ممارساتها المدمرة الحالية - بما في ذلك قطع الأشجار والصرف في الأراضي الرطبة والاستخدام الواسع النطاق لمواد

المحافظة على الأراضي الرطبة هي طريقة فعالة لحماية المياه في آخر مجاريها من التلوث الميكروبي.

مكاتها وعلى سبيل المثال، يمكن جالياً وصف مواقف السيارات بخرسانة مسامية، وهي مادة شبه كتيفة تسمح بانتقال المياه إلى التربة السفلية وتوافر مع ذلك الدعم الإنشائي الكافي للسيارات ويمكن لنظم التجميع الحديثة إفراغ مياه السيول من خلال أقماع من مواقف السيارات إلى مرشحات تستخدم فيها طبقات من المعادن الناعمة والمواد العضوية لتطهير

التربة الرملية وفي المناطق ذات الطبوغرافيا الكهفية بوضوح إلى أن الأقاليم الساحلية تحتاج إلى نظم أكثر تقدماً لمعالجة مياه الصرف الصحي ولكن بعض جماعات الحفاظ على البيئة أشارت إلى أن إنشاء نظم صرف صحي مركزية سوف يؤدي إلى مزيد من العمران ومزيد من تلوث المياه، وهكذا، فعندما تبني المجتمعات المحلية الساحلية نظم الصرف، ينبغي للسلطات البلدية أن تضع قيوداً على التغطية بالسطوح الكتيفة في عمليات البناء الجديدة، بحيث تقتصر، مثلاً، على 10 أو 15 في المئة من المساحة الكلية (وبخاصة بالقرب من مياه المحار)

ويمكن للسواحل الأمريكية أن تكون مقصداً رائعاً لقضاء الإجازات والانتقال للسكنى بها وإقامة المشاريع التجارية ومع ذلك، فما لم يتوافر التخطيط الجيد والرغبة السياسية في حماية الموارد الساحلية، ستظل الشواطئ الخلابة والخلجان المتلألئة بالأضواء والخيران المديّة الهادئة أمكنة خطيرة تتجمع فيها فضلاتنا ويجب علينا أن نؤكد من أن التنمية العمرانية غير المدققة لن تؤدي إلى تدمير الخصائص الحقيقية التي يرجع إليها الفضل في اجتذاب الناس إلى السواحل

A Cleaner Future
Westlands

المياه الملوثة (ويمكن أيضاً تقليص حجم الأمكنة الكبيرة لمواقف السيارات، لأن معظمها قد بني ليلائم التسوق في أيام العطلات، لا ليلائم حركة المرور اليومية) ويمكن استخدام هذه التقنيات في المنشآت الموجودة والمنشآت الجديدة أيضاً وإذا أراد مجتمع ما خفض التلوث الناتج من مياه السيل الجارية لإحياء شواطئه أو لإنقاذ صناعة المحار الوطنية، يمكنه تركيب مرشحات في جميع مواقف السيارات، وإنشاء مناطق نباتية عازلة على طول الأنهار وقنوات الصرف، وإعادة إنشاء الأراضي الرطبة في مواقع مختارة ويشير الأداء السيئ لنظم المجاري في

الرصيف - والانتقال إلى استراتيجيات التنمية الذكية - يجب على المصممين، عند التخطيط للمنتجات الجديدة ومراكز التسوق والمجمعات الإدارية وتقسيمات الأراضي السكنية، الحد من استخدام السطوح الكتيفة وزيادة المساحات المزروعة بالنباتات. فالموقع الذي تكثر فيه المساحات الخضراء، بين المساحات المرصوفة يقل فيه الجريان السطحي لمياه السيل، ذلك أن تغلغل المياه في التربة سوف يساعد على التخلص من كثير من المواد الملوثة المتدفقة من الأسفلت والخرسانة

ويتعين بشكل خاص، المحافظة على الأراضي الرطبة وزيادتها إن أمكن. للمحافظة على الترشيح الطبيعي لمياه السيل، وفي دراسة لأحد عشر جدولاً في السهل الساحلي لنورث كارولينا، وجد المختبر الذي أعمل به أنه في مستجمعات المياه التي يكون غطاء الأراضي الرطبة فيها كبيراً نسبياً - وهو في هذه الحالة أكثر من 13.5 في المئة - لم تتسبب فترات هطول الأمطار في زيادة كبيرة في أعداد بكتيريا البراز القولونية، وتشير النتائج إلى أن المحافظة على الأراضي الرطبة (وزيادتها المفترضة) هي طريقة فعالة لحماية المياه في آخر مجاريها من الرواسب العالقة والتلوث الميكروبي وتستطيع شركات البناء المساعدة في هذا الجهد بالحد من وصول مياه السيول الجارية المحملة بالرواسب الصادرة عن مواقع البناء

وينبغي لشركات المقاولات أن تستفيد من التقنيات الحديثة التي يمكن أن تقلل من كمية مياه الأمطار الجارية، وحتى أن تعالجها في

المؤلف

Michael A. Mallin

عالم متخصص في الأيكولوجيا المائية (علم النبيت المائي). درس بشكل مستفيض تلوث المياه العذبة والمصبات النهرية والمنظومات البحرية الساحلية وهو حالياً أستاذ باحث في مركز العلوم البحرية بجامعة نورث كارولينا حصل «مالين» على الدكتوراه في بيولوجيا البحار والمصبات النهرية من جامعة نورث كارولينا في تشابل هيل. وتشمل اهتماماته البحثية تحليل أثر ممارسات استخدام الأراضي في جودة المياه ودراسة تأثير تراكم العناصر المغذية والأحداث الجوية الكارثية

مراجع للاستزادة

Effect of Human Development on Bacteriological Water Quality in Coastal Watersheds. Michael A. Mallin, Kathleen E. Williams, E. Cartier Esham and R. Patrick Lowe in *Ecological Applications*, Vol. 10, pages 1047-1056; 2000.

Demographic, Landscape, and Meteorological Factors Controlling the Microbial Pollution of Coastal Waters. Michael A. Mallin, Scott H. Ensign, Matthew R. McIver, G. Christopher Shank and Patricia K. Fowler in *Hydrobiologia*, Vol. 460, pages 185-193; 2001.

Linkages between Tidal Creek Ecosystems and the Landscape and Demographic Attributes of Their Watersheds. A. F. Holland, D. M. Sanger, C. P. Gawle, S. B. Lerberg, M. S. Santiago, G. H. M. Riekerk, L. E. Zimmerman and G. I. Scott in *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 298, pages 151-178; 2004.

More information can be found online at www.nrdc.org/water/oceans/gttw.asp and www.epa.gov/beaches/

Scientific American, June 2006

إنعاش مناطق ميتة^(*)

كيف نستطيع إنعاش البحار الساحلية المتأذية من طفرة النمو النباتي والطحالي الناجمة عن الفعاليات البشرية؟

ش. م. م.

بدءاً من مصب نهر الدانوب، ووصلت إلى أوجها في عام 1990، حيث غطت مساحة تساوي مساحة سويسرا (40 000 كيلومتر مربع)، وعلى الطرف الآخر من العالم ظهرت في خليج المكسيك قرب دلتا نهر المسيسيبي منطقة ميتة شاسعة أخرى أواسط السبعينات، وصلت مساحتها إلى 21 000 كيلومتر مربع. لقد نشرت تقارير إضافية خلال العقد الماضي عن مناطق في طريقها إلى الموت أو الاستنزاف في البحار الساحلية والمصبات عبر العالم (انظر الخريطة في الصفحة المقابلة).

وقد انصب اهتمامي الأكبر خلال الأبحاث التي قمت بها منذ أوائل التسعينات، حيث نشر أولها حول الأزمة البيئية (الإكولوجية) ecological crisis في البحر الأسود، على تحديد أسباب هذا الدمار وكيفية تحاشي حدوثه وما يجب عمله لإعادة هذه المناطق المتأثرة إلى الحياة مرة ثانية. ولقد كشفت حالياً أعمال وأعمال آخرين تفاصيل مهمة عن الحوادث التي تخرب المنظومات البيئية الساحلية في أجزاء عديدة من العالم وظهرت معلومات جديدة يمكنها المساعدة على إيجاد طرق للتعافي recovery.

تشكل المنطقة الميتة^(**)

يقوم اليوم باحثو المحيطات بربط تشكل معظم المناطق الميتة بظاهرة تدعى الإثراء الغذائي eutrophication، أي الإغناء المكثف لمياه البحر بالمغذيات nutrients (المركبات المحتوية على النتروجين والفسفور بشكل رئيسي)، الذي يعزز نمو النباتات. وتعتبر كميات محدودة من هذه المخصبات fertilizers ضرورية لصحة العوالق البحرية (البلاكتونات) النباتية phytoplankton - الطحالب الطافية وكتائنات التمثيل^(*) الضوئي المجهرية التي تشكل أساس معظم السلاسل الغذائية البحرية - والأعشاب البحرية والطحالب التي تعيش على قيعان البحار الضحلة التي تصلها أشعة الشمس. لكن الكثرة من تلك المغذيات في هذه المواقع تؤدي إلى زيادة النمو النباتي، ومن ثم إلى انتشار كاسح للطحالب وتأثيرات أخرى غير مستحبة.

تدخل النباتات في السلسلة الغذائية عندما ترعى منها حيوانات دقيقة محمولة بالماء (عوالق حيوانية zooplankton) أو أسماك غشوية herbivorous وكائنات قاعية ترشيحية التغذية.

تخيل ساحلاً مكتظاً بالمتنزهين يتمتعون بشمس الصيف الحارة. وخلال بحث الأطفال عن الصدف ولقى أخرى في المياه الضحلة، يبدأ تقاطر حيوانات نافقة أو في طريقها إلى النفوق بالانجراف نحو الساحل بدءاً من أسماك تكافح للبقاء^(*) ثم كتل كريمة الرائحة متعفنة من السرطان crabs و البطلينوس clams وبلح البحر mussels والأسماك. وعلى صياح أطفالهم المذعورين يتدفع الأمالي بقلق لانتشالهم من الماء. وفي هذه الأثناء تلوح في الأفق قوارب الصيد التجارية عائدة إلى المرفأ بشباك وعناير خاوية.

لا يشكل هذا المشهد جزءاً من أفلام الرعب التجارية، فقد تواتر وقوع حوادث من هذا النوع فعلاً في منتجعات كثيرة على سواحل البحر الأسود في رومانيا وأكرانيا خلال السبعينات والثمانينات، حيث قدر خلال هذه الفترة هلاك نحو 60 مليون طن من الأحياء البحرية القاعية (bottom-living or benthic) نتيجة العوز الأكسجيني hypoxia - كميات من الأكسجين في الماء قليلة جداً لبقائها - وذلك في رقعة من البحر فقيرة بالأكسجين إلى حد لا يسمح بوجود حياة لاكتيرية nonbacterial life.

وقد اتسعت هذه الرقعة الميتة في الشمال الغربي من البحر



تجلت المنطقة الميتة في البحر الأسود بوضوح حينما بدأت الأحياء المائية بالانجراف نحو الساحل قرب مصب نهر الدانوب في السبعينات. وتظهر الأسماك أعلاه منتشرة على طول ساحل البحر الأسود نتيجة المد العالي. كما تظهر صورة للساتل^(*) لمنطقة غرب البحر الأسود أخذت عام 2000 (في اليسار) الانتشار الشاسع لنباتات مجهزية طافية على السطح نتيجة سبب مياه النهر الغنية بالمغذيات.

(*) Dead Zone Formation

(**) REVIVING DEAD ZONES

(1) أو التركيب أو البناء الضوئي.

(2) البقاء على قيد الحياة.

(3) أو القمر الصناعي.





مناطق ممتدة - تتكون مناطق ناضجة من الأكسجين (نتيجة الشفك البكتيري للنباتات الوفيرة)، ومن ثم خالية من معظم الحياة الحيوانية في البحار الساحلية قرب الدول المتقدمة غالباً. وقد تضاعف منذ عام 1990 عدد الدول المأثرة. وغالباً ما

يعزز جريان المياه السطحية الملوثة ظروف المنطقة الميتة. رغم حدوث بعض الحالات بشكل طبيعي. وقد تقلصت مساحة المنطقة الميتة في الجزء الشمالي الغربي من البحر الأسود كثيراً مقارنة بما كانت عليه قبل عدة عقود.

استنزافه خلال فترة قصيرة. وهذا يؤدي إلى نفوق كافة المجموعات الحيوانية animal communities (يمكن أن تنشأ هذه التدرجات نتيجة فروق درجة الحرارة أو ملوحة المياه على أعماق مختلفة) ولقد حدث هذا التتابع الأساس - إثراء غذائي يقود إلى انتشار العوالق النباتية ثم إلى نضوب الأكسجين يليه نفوق النباتات والحيوانات الموجودة - تقريباً في كل منطقة ميتة درسها الباحثون

وعلى كل حال تختلف التفاصيل بحسب الظروف الحيوية والفيزيائية المحلية. وكذلك بحسب معدل وصول المغذيات من اليابسة. فعلى سبيل المثال، تعتبر مصبات الأنهار شبه الرائدة poorly flushed عرضة بشكل خاص لتأثيرات الإثراء الغذائي. نظراً إلى أن قلة سريان الماء تؤدي إلى البطء في تزويد replenishment مياه القاع بالأكسجين. ويعتبر هذا النقص الأكسجيني مشكلة مستمرة على طول الساحل الشرقي للولايات المتحدة، حيث تأثرت مصبات أنهار كبيرة كخليج جيرازيك Chesapeake Bay

وفي الغالب تنتج الزيادة في كميات النتروجين والفسفور الواصلة إلى البحار الساحلية من تغير أنماط حياة الناس القاطنين في المناطق التي تصرف نحو البحر. إن الزيادة في استخدام الوقود الأحفوري (الذي يطلق النتروجين إلى الجو) وكذلك المخلفات الناجمة عن التربية المكثفة للأنعام والزراعة المكثفة وتشبيد نظم مياه المجاري التي تصرف

الشعاب المرجانية coral reefs وبخاصة مع الصيد الجائر الذي يحد من تنامي الرعويات grazers الموجودة في المنطقة. إن الطفرة الشاملة في أعداد العوالق النباتية والطحالب المجهرية تعوق الحياة البحرية بشكل مباشر، إلا أن الوضع الأسوأ يحدث نتيجة انخفاض مستويات الأكسجين في المياه القاعية bottom-waters. وتنخفض تراكيز الأكسجين عندما تستهلك البكتيريا خلال تفكيك كتل المادة العضوية الناجمة عن النفايات الحيوانية والكائنات العضوية النافقة التي تتراد خلال سيروية الإثراء الغذائي وتتراكم معظم هذه المادة فوق قاع البحر، حيث ينذر وجود الأكسجين

يتأخذ الأكسجين طريقه إلى الماء. إما من سيروية التمثيل الضوئي أو الانتشار الفيزيائي physical diffusion من الهواء. عند سطح البحر. وإذا كان تدرج الكثافة density gradient في منطقة قاعها مغطى بالنباتات النافقة شديداً، بحيث يحول دون خلط عمود الماء فوقها. فإن الأكسجين عند القاع يمكن

filter-feeding bottom dwellers والمحار oysters، أو عندما تنفق أو تتعفن وتسقط على قاع البحر فتتعرض إلى تفكك بكتيري. وأخيراً تندمج مع رواسب القاع وهذه المادة العضوية القاعية تصبح غذاء للحيوانات الموجودة هناك، بما في ذلك الديدان worms والربيان shrimp وبعض الأسماك. إن عدد العوالق النباتية يعتمد في الحالة الطبيعية على توافر الضوء والمغذيات وشدة الرعي، ولكن الزيادة الكبيرة في تراكيز النتروجين والفسفور تمكن هذه المتعضيات الباقية الضوئية التركيب photosynthetic من التكاثر بوفرة عالية. ويتحول لون الماء أحياناً إلى الأخضر أو البني عندما يتسارع نمو مجاميع العوالق النباتية ويحول الظل الذي تسببه دون وصول ضوء الشمس الضروري للنباتات القاطنة تحتها وفي الخلدان الضحلة أيضاً تغطي طبقة من الطحالب المجهرية epiphytes الأعشاب البحرية، ما يؤدي إلى اختناق تلك النباتات ونفوقها. كما يمكن للطحالب أن تغلف

نظرة إجمالية/ البحار الساحلية في مشكلة

- تقتل المغذيات النباتية المنقولة بالأنهار من اليابسة مظاهر الحياة في أجزاء من البحار الضحلة حول العالم مؤدية إلى تشكل ما يدعى مناطق ميتة.
- تسبب المخصبات الكيميائية نمواً زائداً للنباتات المجهرية الطافية قرب السطح، ما يحول دون وصول الضوء إلى النباتات القاطنة في القاع ويؤدي إلى زيادة كمية المواد العضوية المتعفنة الساقطة على قاع البحر. وتستهلك البكتيريا الموجودة قرب العضويات الميتة أكسجين القاع ما يؤدي إلى فقدان معظم الحياة الحيوانية هناك.
- يمكن استعادة تجديد هذه المنظومات البيئية المهمة بتخفيض ملحوظ في صبيب مياه الري ومياه الفضلات، وكذلك بضبط الصيد السمكي الجائر.

Overview: Coastal Seas in Trouble (4)

(1) جمع بكتيريا

الإثراء الغذائي تصبح أكثر عرضة لغزو أنواع بخيلة كذلك التي يمكن أن تصل مثلاً نتيجة تصريف مياه أحواض توازن السفن العابرة للمحيطات. ففي التمانينات وصلت أسماك المنشط الهلامية *Mnemiopsis leidyi* والتي ربما كانت أصلاً على الساحل الشرقي للولايات المتحدة، إلى البحر الأسود وقد ضعت هذه المفترسات النهممة الحدية بحلول عام 1990 على كامل المنظومة البيئية. وبلغت في ذروتها كثافة هائلة وصلت إلى 5 كيلو غرام في المتر المربع

وفي بعض الأحيان، يمكن لشعاب الأسماك الصدفية *shellfish* أن تدرأ تدريجاً منظومة بيئية ففي كثير من المصبات النهرية على الساحل الشرقي للولايات المتحدة يؤدي المحار *oysters* دور مهندسي النظام البيئي بالتجمع على شكل شعاب تعلق عدة أمتار فوق قاع البحر وتدعم هذه الشعاب تجمعات متنوعة من الكائنات العضوية بما في ذلك سمك موسى *flounder* والسمك القناص *snapper* وأسماك بيج الفضية *silver perch* والسرطاسين الزرقاء *blue crabs*

وعلى سبيل المثال، فقد بين كل من *It* لينهان، [من جامعة كاليفورنيا في سانتا باربرا] و *H.C.* بيترسون، [من جامعة نورث كارولينا في شابل هل] أن ذرا شعاب المحار في نهر نوس بنورث كارولينا صارت ملاذاً لأنواع المهاجرة من مناطق القاع الباضية من الأكسجين عند بدء تشكل المنطقة الميتة، لأن تلك الذرا قد برزت فوق تلك المناطق وعلى كل حال غالباً ما يؤدي الحصاد الميكانيكي المتكرر للمحار إلى الإقلال من ارتفاع هذه الشعاب، ما يساعد على تدمير رجوعية *resilience* هذه المنظومات البيئية

كارثة البحر الأسود

يقدم البحر الأسود مثلاً صارخاً على أية تخريب المنظومات البيئية القاعية *undersea ecosystems* بفعل ازدياد المغذيات. كما يتبع تصوراً عن كيفية إعادة إنعاش تلك المنظومات لقد وقعت المنطقة الشمالية الغربية من البحر فريسة للإثراء الغذائي عندما تصاعفت كميات انصباب مركبات النيتروجين والفوسفور فيها من اليابسة بين أعوام الستينات والتمانينات. وبشكل بهر

Waters Greenery
Black Sea Catastrophe

مجدافيات الأقدام عن الرعي على الأنواع الجديدة من العوالق النباتية وكذلك على الكميات الكبيرة من البقايا العضوية الناتجة من اضطراب *disruption* المنظومة البيئية الطبيعية إن هذا التعير يشجع على نمو كائنات عضوية شديدة التحمل كالهلاميات الليلية *noctiluca* (المشكلة للفوسفوريسين الليلي الحادث عند اضطراب سطح الماء) ويدعو علماء الأحياء هذه الحيوانات السمكية الهلامية التي تشبه فناديل البحر «الأنواع الحدية» *dead-end species*، نظراً إلى صعوبة تعايش المفترسات ذات المستوى الأعلى *higher-level predators* قريبها كما أن وجودها يخفض من كفاءة السلسلة الغذائية *food chain*، ما يؤدي إلى تضائل المخزون السمكي

إن الصيد الجائر يزيد في خلل توازن السلسلة الغذائية وبخاصة عندما يستهدف الأنواع العالية القيمة من المفترسات القمة *top predators* كآسمان القد *cod* والأسماك الفضية من نوع النازلي *hake* والأسماك الذهبية من نوع دورادو *dorado* والأسماك الخضراء المزرقّة من نوع الأسقمري *mackerel* إن فقدان أنواع أسماك القمة *apex fish* يقود إلى ازدياد أعداد طرائد الأسماك الصغيرة *prey fish*. وهذا بدوره يؤدي إلى تناقص أعداد العوالق الحيوانية (غذاء الأسماك الصغيرة). ومن ثم إلى ازدياد العوالق النباتية، ويدعو العلماء هذه السيرة المتتابة تهابط السلسلة الغذائية *trophic cascading* إن وجود سلسلة غذائية لأكفوة يؤدي إلى ازدياد المادة العضوية على قاع البحر. وهذا بدوره يعزز خطر تشكل منطقة ميتة في وقت لاحق.

إن المنظومات البيئية التي تغيرت نتيجة

في الكتل المائية، تؤدي جميعاً إلى ازدياد كمية المغذيات في الأحواض المائية السطحية *watersheds*. تد أشار تقرير التقويم البيئي لـ *The Millennium Ecosystem Assessment* الصادر عن الأمم المتحدة في عام 2005 إلى أن كميات المركبات المحتوية على النيتروجين الواصلة إلى البحار قد زادت بنحو 80 في المئة من عام 1860 إلى عام 1990. وتنبأ التقرير بأن مجمل الجريان نحو المحيطات نتيجة النشاطات البشرية سيؤدي فوق ذلك بنسبة 65 في المئة بحلول منتصف القرن. ولذا يحتمل ازدياد انتشار المناطق الميتة ما لم تتخذ المجتمعات إجراء فورياً للإقلال من تدفق المغذيات النباتية

مقابر مائية

مع أن ظهور منطقة ميتة يعتبر المرحلة الأخيرة لسيرة الإثراء الغذائي، فإن المنظومات البحرية، وبخاصة المجموعات الحيوانية منها، تتعرض لتغيرات قبل تلك الفترة بزمان طويل. إذ غالباً ما تشكل الدياتومات (ثنائية الذرات) *diatoms* - وهي عوالق طحلبية سيليكاتية - الغلاف *silica-shelled phytoplankton* - أولى مراحل سلسلة غذائية سليمة في المناطق الساحلية، وهذه تستهلكها مجدافيات الأقدام *copepodes* وهي عوالق قشرية حيوانية متناهية في الصغر *minuscule zooplanktonic crustaceans*، وتصبح هذه الحيوانات بدورها طعاماً للأسماك إن زيادة تراكيز المغذيات تؤثر في خليط أنواع العوالق النباتية، بحيث تفوق أنواع أخرى لبق وأقل قابلية للهضم أعداد العوالق الطحلبية. وعندما يتبع الإثراء الغذائي ازدياد العوالق النباتية بكثرة غالباً ما تعجز



تظهر الحياة القاعية المفقودة والمستعادة بوضوح في شائين الصورتين متوقعين من قاع البحر الأسود مطلع عام 2006. وتظهر الصورة اليسرى منطقة ماضية بشدة مغطاة بقشريات الرخويات المقتولة نتيجة نقص الأكسجين المذاب. وفي الصورة اليمنى يظهر موقع متعاف مغطى بطبقة كثيفة من الطحالب المتنوعة وأعداد ضخمة من بخاخات البحر *acidians* (بواخير بحرية *sea squirts*)



في البدء احتوت المياه الساحلية القريبة من السطح في منطقة البحر الأسود الشمالية الغربية على خليط متنوع من العوائل النباتية (طحالب ونباتات ميكروية) مجهرية (أخرى طافية) وأنواع عديدة من السحك والمتعضيات الأخرى. وقد تميزت المياه الضحلة قرب الساحل بوجود أنواع من أسماك الأنشوفير البانغة كاسماك 'الكريل' mackerel والونسو bonito؛ في حين عاشت في الأعماق المتوسطة مجموعات كبيرة من المفترسات القمعة كسمك 'بنت' whiting وأنواع كثيرة من الطرائد السمكية. إضافة إلى بعض قناديل البحر أما في الأعماق فقد نشطت محاصير من الرخويات وأسماك الحويين gobies و ليربوت turbot و السترميون sturgeon والسرالمح hermit crabs. وذلك ضمن كميات هائلة من الأعشاب البحرية والطحالب البنية والحمر

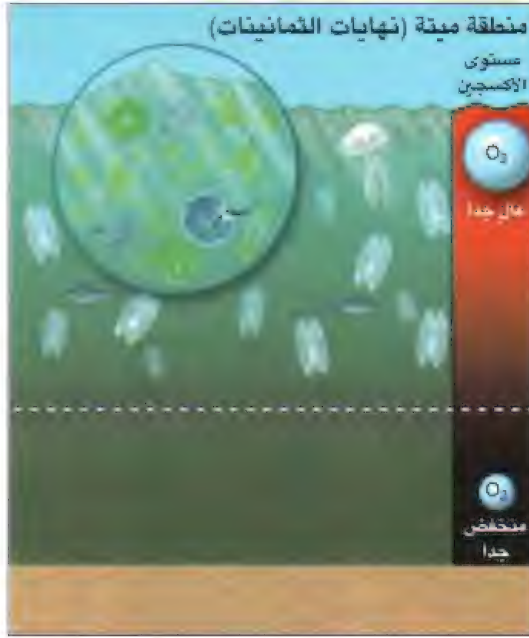
تعتبر الحوادث المحددة لمشوء المنطقة الميتة في البحر الأسود نمطية لمناطق مشابهة ناضية من الأكسجين (عائزة للأكسجين) رغم اختلاف التفاصيل من حالة إلى أخرى وفي الأساس يفقد الإثراء الغذائي وصول كميات كبيرة من المغذيات التي تسبب نمو شديدا للطحالب ونباتات طافية أخرى ضوئية التمثيل، بشكل غير مباشر إلى العوز الأكسجيني وإلى نفوق النباتات والكائنات الحية التي في الأعماق لقد عرّض Ts ناجاي، [من وكالة أبحاث صيد الأسماك اليابانية، والذي درس إحدى أول المناطق ذات العوز الأكسجيني المعروفة] وصفا أوليا للمراحل الثلاث لانحطاط decline المنظومة البيئية في بحر سينو الداخلي باليابان أوائل الستينات فقد دعا المرحلة الطبيعية بـبحر السرب الأحمر، sea of red beam (أنواع المفترسات المستهدفة من الصيادين انطليين) ثم تلت ذلك مرحلة بحر الأنشوفير sea of anchovies، حيث تضائل عدد المفترسات تاركة وراءها بشكل رئيسي أسماك الطرائد الصغيرة prey fish وأخيرا أتت مرحلة بحر السمك النهامي أو قناديل البحر sea of jelly fish، حيث ماتت معظم الأنواع الأخرى تاركة وراءها أنواعا غازية شديدة التحمل تغطي في المكان وقد كان 'ناجاي' أيضا من بين أول من أثاروا إلى إسهام الصيد الجائر في سيرورة تدهور السلسلة الغذائية في البحر (نتيجة روال السمك المفترس القمعة)

مستويات الأكسجين بالتناقص وبخاصة قرب القاع، ويتحمل كثير من المصراعيات العوز الأكسجيني لفترة قد تصل إلى 20 يوما، وذلك بإغلاق أصدافها والعيش على الاحتياطيات الداخلية من الكليكوجين glycogen - مخزون الطاقة الرئيسي للحيوان من الكربوهيدرات لكن حين استنزاف هذه المؤونة تنفق الحلزونيات mollusks بكميات كبيرة، ما يدفع البكتيريا والمتعضيات الأخرى لاستهلاك المتبقي من الأكسجين المحلي خلال تفكيكها لهذه الحيوانات النافقة وطرح كميات جديدة من المغذيات النباتية ويزوال كامل الأكسجين، فإن كافة الكائنات الحيوانية التي كانت تعيش طبيعيا في المنطقة إما هاجرت بعيدا بحثا عن الغذاء والأكسجين وإما نفقت في مكانها ولم تبدأ المنطقة بالتعافي إلا بعدما انهارت الانظمة الشيوعية في أوروبا الشرقية بنهاية عام 1989 وتم التخلي عن التخطيط المركزي للاقتصاد ووجد المزارعون هناك أنفسهم بشكل مفاجئ

القاعية البنية اللون، كما عاشت بعيدا عن الشاطئ أكبر مجموعات الطحالب الحمراء في العالم - حقل من الفيلوفورا phytophthora بمساحة هولندا وقد تعايشت هذه التروج الطحلبية الطبيعية مع مجاميع هائلة من الرخويات والمصراعيات الأخرى، وساعد مجمل هذا النظام على وجود أنواع كثيرة من اللافقاريات والأسماك كما ساعدت الطحالب على أكسدة مياه القاع وقامت الرخويات بترشيح مياه البحر مؤمنة بذلك الضوء، اللازم لسيرورة التمثيل الضوئي وقد كانت هذه المنظومة البيئية العالية الرجوعية قادرة على استيعاب تغيرات كبيرة في ظروف المناخ والاضطرابات الطبيعية، وعلى كل حال فقد أدى ازدياد صبيب المغذيات إلى ظهور طفرات من العوائل النباتية على سطح الماء، وتسبب هذا النمو الوافر في تخفيض شفافية الماء، ما حال بدوره دون وصول الضوء إلى الطحالب القاعية، وأدى أخيرا إلى زوالها، ومن ثم تغيير المنظومة البيئية بأكملها وخلال أشهر الصيف، حيث تنخفض (تتصاف) stratified طبقة المياه، تبدأ

الدانوب المورد الرئيسي لهذه المركبات الكيميائية، نظرا إلى أنه يصرف معظم تجميعات الأمطار watershed في 11 دولة عبر أوروبا الوسطى من ألمانيا إلى رومانيا وتوجه أصابع الاتهام بشكل رئيسي نحو الصرف السطحي الزراعي ومياه الفضلات البلدية والصناعية، إضافة إلى مركبات النتروجين المنقولة من الغلاف الجوي إن ما لا يقل عن نصف كمية النتروجين الإضافية التي تصب في البحر الأسود نتج من تساليل الزراعة الحديثة، بما في ذلك الاستخدام المفرط للأسمدة، وكذلك بسبب مبيدات الإنتاج الحيواني الضخمة. لقد أسهمت هذه النشاطات الزراعية أيضا في ازدياد صبيب الفسفور، ولكن الدور الأكثر تأثيرا كان لصبيب المخلفات الصناعية والبلدية المحملة بالمذيبات المتعددة الفسفات polyphosphate detergents

لقد كانت المنطقة الشمالية الغربية الضحلة من البحر الأسود قبل الستينات تشكل نظاما متنوعا وعالي الإنتاجية، محتويا على امتدادات شاطئية شاسعة من الطحالب



وأخيرا صار البحر حاليا من مظاهر الحياة، نظرا إلى امتداد الغل shading والعوز الأكسجيني الشامل لقد أدى الصيد الجائر إلى تناقص أنواع الأسماك المفترسة، وأخيرا احتفاء هذه الأنواع ومعظم الحيوانات الكبيرة من المنطقة ونتيجة لذلك تضاعفت كثير في الطبقات العلوية أنواع انتهازية غازية وبخاصة اسماك المنشط الهلامية *Mnemiopsis leidyi*

مع تزايد صبيب المغذيات النتروجينية والفسفورية من اليابسة بدأ الانسحاق الطبيعي للمنطقة الساحلية للبحر الأسود بالتغير فقد أدى النمو الزائد للعوالق النباتية إلى تغير لون المياه إلى اللون الأخضر وحتى البني، ما حال دون وصول ضوء الشمس إلى النباتات العائشة في الأسفل، إضافة إلى ترسيب مستمر للمادة العضوية المشبعة فوق القاع وقد تلا ذلك قيام البكتيريا الموجودة على القاع باستهلاك كميات كبيرة من الأكسجين خلال التهامها المادة العضوية والنباتات النافقة، وهذا أدى إلى حالة عوز أكسجيني عند قاع البحر ونفوق متعضيات كثيرة

طريق طويل للتعافي

النباتات والحيوانات في الجوار والتي يمكنها أن تقدم «مخزوننا بذريا» seed stock بعيد وجود المجموعات المفقودة، وبالفعل فقد انقرضت أصناف الحياتين النباتية والحيوانية flora and fauna التي عاشت يوما في المنطقة المتضررة ويمكن أن تنتقل حيوانات بحرية كانت تسكن الموقع مسافات كبيرة على شكل يرقات من منظومات بيئية سليمة لتوض نفسها في ملاذ حيوي شاغر مناسب وقد تحد هذه الأنواع التي تنوي العودة ثانية، نفسها قد احتلت مكانها متعضيات غازية انتهازية قامت بالاستيلاء على المواطن المناسبة

وأخيرا غالبا ما يسبب الإثراء الغذائي تغيرات في تركيب المنظومة البيئية لا يسير عكسها (انظر الشكل في الصفحة 44) وتراجع بعض الأنواع لدى التزايد المفرط في تراكيز المغذيات، لكن يمكن أن تبقي منظومة البيئية ككل فتيحة لفترة طويلة إذا تمكنت المجموعات الطبيعية من مقاومة الأزيد في نمو العوالق النباتية أو ما يشبهها ولكن

Long Road to Recovery (١٠)

organisms، أو عضويات أو كانت في حياة

من الواضح أن استعادة الحياة في المناطق الميتة تتطلب في حدها الأدنى الإقلال عن وصول المغذيات من الأراضي المجاورة، ومع ذلك قد لا تعود المنظومات البيئية البحرية التي انهارت بسبب الإثراء الغذائي والعوز الأكسجيني إلى وضعها الأصلي حتى لو غير الناس فعاليتهم لإقلال كميات المغذيات النباتية الواصلة إلى الأنهار وتحصل هذه المقاومة للتعافي نتيجة ثلاثة أسباب فبالأحواض النهرية الساكنة تملك إمكانات كبيرة لتخزين المغذيات - ذائبة في المياه الجوفية أو ممتزة adsorbed على ذرات التربة وقد تنقضي سنين أو حتى عقود قبل توقف الأسمدة النتروجينية والفسفورية والمواد الكيميائية الأخرى عن التسرب leaching our والوصول إلى البحر، وتنزع مركبات النتروجين بشكل خاص إلى التراكم في المياه الجوفية

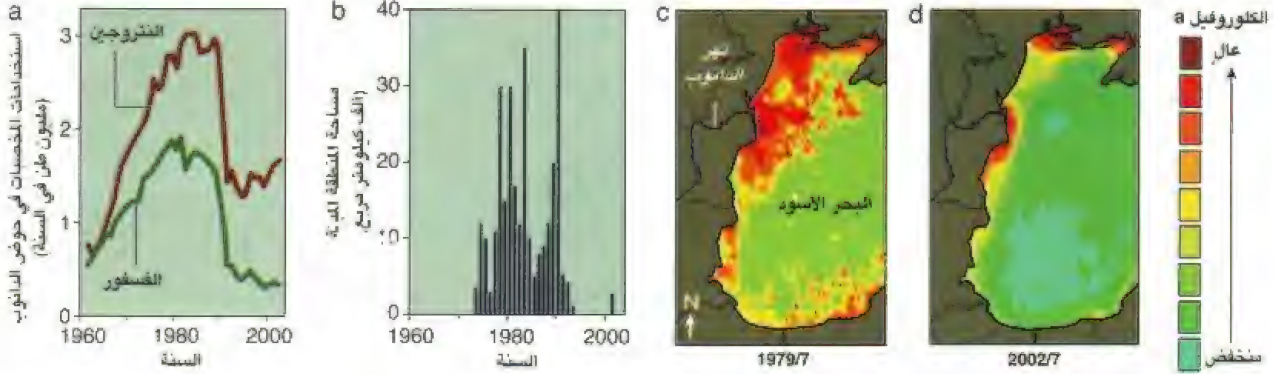
كذلك قد تسبب finger المناطق الميتة في مواقعها إذا قل وجود مجموعات سليمة من

بالقليل من المال لشراء السماد، ومن ثم تباطات النشاطات الزراعية. كما أغلق الكثير من المزارع الحيوانية العملاقة، ما أدى لتخفيض جريان المغذيات إلى حد كبير. وقد أنتجت في السابق مزرعة واحدة تحوي مليون رأس من الخنازير في رومانيا ما يكافئ انبعاثات من مدينة يقطنها خمسة ملايين نسمة.

لقد نتج من التخفيض الكبير للمغذيات خلال ست سنوات تضاعف مساحة المنطقة الميتة (انظر الشكل في الصفحة 42). وعلى كل حال كان تعافي البحر تدريجيا، فعلى سبيل المثال، أظهرت دراسات قام بها زملاء أوكرانيون أن تجمعات الرخويات في المناطق المخربة من الحيد الشمالي لم تعد إلى الظهور ثانية إلا بحلول عام 2002، أي بعد انقضاء سنين عديدة على تعافي مجموعات أخرى. وقد كشفت بعثة علمية أرسلناها في الشهر 2006/8 لفحص حالة البحر عن نمو كميات كبيرة من مجاميع الطحالب القاعية، رغم اختلاف هذه الأنواع عن تلك التي كانت سائدة قبل تشكل المنطقة الميتة.

البحر الأسود يتعافى من جديد⁽¹⁾

حدوثها في فصول الصيف للسنتين الواحدة والعشرين التالية (b). ويكشف اللون الأحمر يوضح في صورة فضائية أخذت عام 1979 (c) امتدادا واسعا للمياه المثلثة بالأسمدة (في تلك الصورة وفي هـ تم تقدير الإثراء الغذائي بتعيين تراكيز الكلوروفيل a، وهو مؤشر إلى النمو النباتي في المياه السطحية). وبعد مرور خمس سنوات على توقف الزراعة المكثفة عادت المنطقة المتردية إلى الحياة (d, b). منتكسة مرة واحدة خلال الصيف الحار جدا عام 2001 وبحلول عام 2002 عادت مجموعات الرخويات إلى الاستيطان من جديد. وعلى كل حال يمكن أن يتعرض البحر الأسود لخطر جديد حين انطلاق اقتصادات أوروبا الوسطى وازدهار الزراعة مرة ثانية هناك.



مهمتين قبل حدوث تعاف شامل ومستدام لمنظومة البحر الأسود البيئية. ويجب على السلطات الأوروبية اتخاذ الإجراءات اللازمة لضمان عدم وصول المغذيات من اليابسة إلى البحر مرة ثانية في حال عودة انطلاق اقتصاداتها من جديد. فمثلا يجب عليهم الاستثمار في مشاريع ضخمة للإقلال من الفضلات، وذلك باستخدام أحدث التقنيات. وتبرز أهمية هذه النقطة بشكل خاص في حوض الدانوب؛ حيث انضمت، أو في الطريق إلى ذلك، ست دول إلى الاتحاد الأوروبي. ويتلief بعض المزارعين من أوروبا الغربية. حيث تسببت الزراعة المكثفة في إثراء غذائي للأنهار والمياه الساحلية. لشراء مزارع في أوروبا الوسطى.

كما يجب على الحكومات تحجيم الصيد السمكي التجاري إلى الحد الذي يسمح بتعافي المخزونات المستنزفة من الأسماك المفترسة Piscine Predators، وكذلك ضبط شبك وتجهيزات الصيد في القوارب التي تخرب المجموعات القاعية الرئيسية. إن على الأمم البحرية عبر العالم العمل

بأهمية استعادة هذه المناطق وتأخذ بزمام الأمور المبادرة لذلك. ولقد دعم العلماء بالوثائق بعضا من حالات التعافي لتلك المناطق، نظرا إلى أن إنقاص سيح runoff المغذيات من الأرض يتطلب تغييرات مهمة في أساليب الزراعة ومعالجة مياه الصرف. وقد أدت معظم البرامج الموضوعة إلى تخفيض جزئي فقط في جريانات المغذيات فوق الأرض.

ولتخفيض حمولات المغذيات يجب وضع خطط شاملة (على مستوى منظومة حوض ساكوب نهري) موضع التنفيذ للإبقاء على النتروجين والفسفور على اليابسة خارج الماء. وقد وضعت مثل هذه الجهود حاليا موضع التنفيذ في خليج جيزابيك وفي البحر الأسود. وفي الحالة الأخيرة اتفقت الحكومات المحيطة، بمساعدة وحدة بيئة العالم Global Environment Facility التابعة للأمم المتحدة، على اتخاذ مبادرة مهمة للإبقاء على مستويات جريان المغذيات عند قيمتها منتصف التسعينات، وهي خطة تساعد على ما يبدو على تعافي تلك المناطق من خلال مشاريع رائدة لتحسين أساليب الزراعة ومعالجة مياه الفضلات وعلى كل حال يجب التغلب على مشكلتين

فقدان الأنواع الرئيسية عند حد معين يؤدي إلى انهيار مفاجئ وحدث حالة متريدة جديدة تأخذ وضع توازن جديد نتيجة تحمل بعض الأنواع الباقية لتأثيرات الإثراء الغذائي ووصول كائنات انتهازية من مواقع أخرى. وهذه الحالة الجديدة هي، لسوء الحظ، في وضع مستقر. ولذا قد لا يؤدي إنقاص كمية المغذيات إلى مستويات ما قبل الإثراء الغذائي إلى استعادة المنظومة البيئية الأصلية، بل قد يلزم تخفيض تراكم تلك المغذيات إلى مستويات أقل من ذلك بكثير.

ويزيد الصيد الجائر في تعقيد المسألة إذا أدى إلى الإقلال من رجوعية المنظومة البيئية، حيث يحصل تردي الحالة الطبيعية من وضعها الأصلي في وقت أبكر. ولذلك قد يكون من الضروري أيضا الإقلال من الصيد بشكل ملحوظ قبل التوصل إلى حالة سليمة. وقد يتعذر استعادة الظروف السابقة إطلاقا إذا فقدت أنواع المنظومة الأصلية أو ظهرت أنواع غازية في الموقع.

درء حدوث المناطق الميتة⁽²⁾

لا يكفي أن نعرف كيف نصلح المناطق الميتة، وإنما يجب على الحكومات أن تقتنع



قد لا يكفي تخفيض مستويات المعضيات إلى ما كانت عليه قبل تشكل المنطقة الميتة لتحقيق التعافي. كما هو مبين في هذا الشكل، الذي يربط بين صحة منظومة بيئية (بدالة تعقيدها أو تعدد أنواعها) وكمية المغذيات التي نكفيها. وتبقى منظومة ما عالية التنوع ومقبولة الصبيب من المغذيات ذات رجوعية عالية إلى أن تزيد حمولة المغذيات على مستوى معين (العتبة 1)، مؤدية بذلك إلى انحدار المنظومة نحو حالة تنوع أدنى. وتحصل هذه الحالة المفاجئة (العتبة 2) إذا أدى الصيد الجائر إلى استنزاف أعداد الأسماك من المفترسات القمة، ما ينقص تعدد الأنواع. ولأسوء الحظ فإن الحالة المتردية الجديدة هي أيضا مقاومة للتغير ولا يمكنها استعادة تنوعها المفقود إلا عند انخفاض معدلات صبيب المغذيات إلى مستوى أقل بكثير من المستويات الابتدائية (العتبة 3). وحتى في هذه الحالة الأخيرة يمكن لمنظومة بيئية أن لا تعود مطلقا إلى حالتها الأولى إذا انقرضت الأنواع الرئيسية.

على تخفيف الضغط الذي يسببه الصيد في مناطق الإثراء الغذائي، وهذا الأمر يصعب تحقيقه بعد أن استنزفت اليوم أكثر من نصف المصايد السمكية عبر العالم ورغم توقيع اتفاقية عالمية لتأسيس شبكة من المحميات البحرية عبر العالم ببلوغ عام 2012 - ما يساعد على تقييد الصيد الجائر وإنقاذ المخزون البشري اللازم لتعافي المناطق الميتة - فإنه من غير المتوقع تحقيق أهداف هذه الاتفاقية، نظرا إلى فقدان آليات التطبيق.

وحتى لو تمت استعادة جزئية لمنظومة بيئية ثرية بالغذاء eutrophic يجب على السلطات أن تدرك أن هذا التعافي الجزئي قد يبقينا في وضع لا مستقر. فالرخويات، على سبيل المثال، لها قدرة فائقة على ترشيح المياه. وقد تم تنمية أسرة من الرخويات على شعاب اصطناعية لتحسين جودة المياه. ولكن التفكيك البكتيري لفضلات الرخويات والكانات النافقة يستهلك كميات كبيرة من الأكسجين، ما يؤدي إلى تشكل دورات ذروة وحضيض boom-and-bust cycles في الأمكنة التي يكون فيها خلط الماء ضعيفا وتجديد الأكسجين محدودا. وفي هذه الحالات تنهار مجموعات الرخويات النشيطة فجأة فتتشكل منطقة ميتة لا يبدأ تعافيا من جديد إلا بعد تفكك كامل المادة العضوية في الموقع لقد لاحظ العلماء هذه الظاهرة في المصبات على البحر الأسود. ويمكن التحوي أمام مديري الموارد البحرية في الإبقاء على الظروف التي تسمح بديمومة منظومات رجوعية

resilient ومتنوعة - حتى في المناطق التي لم يعد فيها بلوغ حالة التعافي التام ممكنا وبكلام أكثر دقة، يعتمد مبدأ تصنيف مستوى صحة أو جودة منظومة بيئية على القيم التي لدى السكان المحليين. ففي الوقت الذي يبدو لبعضهم أن النتيجة المطلوبة من أي عمل تصحيحي remedial action هي الوصول إلى بحر يحتوي على طرائد سمكية صغيرة، في حين لا يكون مقبولا لدى الآخرين إلا التوصل إلى حالة بحر يعج بالمفترسات الرئيسية

المؤلف

Laurance Mee

مدير المعهد البحري في جامعة بلايموث بإنجلترا وهو يرأس مجموعة أبحاث الحطة البحرية الساحلية المتعددة الاختصاصات في الجامعة وهو عالم محيطات حصل على الدكتوراه من جامعة ليفرپول شغل «م» أيضا مواقع بحثية في معهد العلوم البحرية والمائية في المكسيك ومختبر IAEA للبيئة البحرية في موناكو، ونسق أعمال برنامج وحدة بيئة العالم التابعة للأمم المتحدة - البرنامج البيئي للبحر الأسود. وقد صار زميل كرسي صون البحار في عام 1998 وتنصب أعمال «م» الحالية على طرق حماية البيئة البحرية وأحواض الصرف المرتبطة بها والمناطق الساحلية

مراجع للاستزادة

- Marine Benthic Hypoxia: A Review of Its Ecological Effects and the Behavioral Responses of Benthic Macrofauna. R. J. Diaz and R. Rosenberg in *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, Vol. 33, pages 245-303; 1995.
- National Estuarine Eutrophication Assessment: Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries. S. B. Bricker, C. G. Clement, D. E. Pirhalla, S. P. Orlando and D. R. G. Farrow. NOAA, National Ocean Service, Special Projects Office and the National Centers for Coastal Ocean Science, 1999.
- Nutrient-Enhanced Productivity in the Northern Gulf of Mexico: Past, Present and Future. M. N. Rabalais, R. E. Turner, Q. Dortch, D. Justic, V. J. Bierman and W. J. Wiseman in *Hydrobiologia*, Vol. 475, No. 6, pages 39-63; 2002.
- Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends. Millennium Ecosystem Assessment, Island Press, 2005. Available online from www.millenniumassessment.org/en/products.global.overview.aspx
- Restoring the Black Sea in Times of Uncertainty. L. D. Mee, J. Friedrich and M. T. Gomoiu in *Oceanography*, Vol. 18, pages 32-43; 2005.

Scientific American, November 2006

الرؤية بواسطة أجهزة فائقة الموصلية

أجهزة صغيرة جداً مصنوعة من مادة فائقة الموصلية، تعمل عمل مُحسّنات رائعة للفوتونات ولجسيمات أخرى، تُحدث ثورة في العديد من حقول البحث والتقانة.

Dr. D. R. H.

تتظفر في عالم الأشعة تحت الحمراء والموجات الميكروية، حيث الترددات (التواترات) منخفضة (الأطوال الموجية طويلة، الطاقة منخفضة) وفي عالم الأشعة السينية وأشعة كاما حيث الترددات عالية، ولكنها هي الأخرى محدودة في قدراتها ويفتقر العلماء بصورة خاصة، بالنسبة إلى الأطوال الموجية المرئية والأطول منها، إلى مكشاف قادر على «رؤية» فوتون منفرد وعلى تمييز تردده، ومن ثم طاقته، بأي دقة كانت. ذلك أن تعيين تردد الفوتونات يفتح الباب أمام ثورة من المعلومات حول المادة التي أصدرت هذه الفوتونات.

تنطلق حالياً ثورة في كشف الفوتونات بابتكار مكاشيف أساسها الموصلية الفائقة، بإمكانها القيام بمثل تلك القياسات الدقيقة وبأمور أخرى غير عادية: إذ إن هذه الأدوات الجديدة تحسّن حساسية القياسات على مدى الطيف الكهرمغناطيسي، من الموجات

SEEING WITH SUPERCONDUCTORS (1)

spatial (1) أو الحيّزي أو المكاني.

(2) الـ (pixel) هو «عنصر صورة»، وعنصورة تحت من هاتين الكلمتين.

(3) الموجة الميكروية microwave هي إشعاع كهرمغناطيسي تقع أطوال موجاته بين مليمتر وعشرة سنيمترات و «micro» ميكروية (نسبة إلى الميكرون) أو ميكرونية أو ميكرونية أو صغيرة.

عيناك مكشافاً ضوء شديداً الحساسية، تعيينان شدة الأشعة الساقطة عليهما ولونها وتوزّعها الفضائي. ونملك شبكية العين البشرية من العنصورات (الـ pixels) أكثر مما تمتلك آلة تصوير رقمية تجارية. ففي الشبكية نحو ستة ملايين من الخلايا المخروطية التي تتحسس باللون وأكثر من 100 مليون من الخلايا الأسطوانية (القضبان) المسؤولة عن الرؤية في الظلام والعيون حساسة جداً. خلية أسطوانية معتادة على الظلام يمكن أن تطلق إشارة إلى الدماغ عند امتصاصها جسيماً واحداً من جسيمات الضوء (أو فوتوناً)، وهو أصغر وحدة كمومية من موجة كهرمغناطيسية. وتلزم ست فقط من إشارات الفوتون الواحد هذه لكي يرى الدماغ ومضة، لكن العيون والآلات التصوير التجارية بعيدة عن أن تكون مثالية للعديد من المهمات، لأنها لا تستطيع أن تكشف سوى تلك الفوتونات التي تقع تردداتها في المدى المرئي الضيق. وأكثر من ذلك فإن قدراتها اللونية لا تتضمن قياس التردد (التواتر) المضبوط لكل فوتون.

وبالمقابل، فإن مكاشيف الفوتونات، العلمية منها والصناعية، تحدف في المجالات الكهرمغناطيسية التي تقع خارج مدى الضوء المرئي - فهي

يستطيع فوتون منفرد أن يحرق الآلاف مما يسمى أزواج كوبر من الإلكترونات الموجودة في مادة فائقة الموصلية وبإمكان جعل جديد من المحسّنات المبنية على هذا المبدأ كشف فوتون منفرد وتحديد طاقته بدقة كبيرة.

للتصادمات الاهتزازية الإلكترونية الشريكين في أزواج كوبر
أحدهما عن الآخر وأزالت بذلك الموصلية الفائقة

وبسبب هذه الحساسية للحرارة لا بد من تبريد العديد من
الموصلات الفائقة إلى درجات قليلة فقط فوق الصفر المطلق (درجة
(0 كلفن تساوي 273.15 درجة سيلزية أو 459.69 درجة فهرنهايت)
وتحتاج بعض الأنواع إلى درجات حرارة منخفضة لا تتجاوز أجواء
قليلة من المئة من الكلفن ويمكن التوصل إلى هذه الدرجات
المنخفضة جدا من الحرارة باستخدام مبرّدات متوافرة تجاريا
تستخدم إما الهليوم السائل أو سيروورة تدعى إزالة المغنطة الكتلوم
(الادياباتية) (adiabatic demagnetization) إلا أن الحاجة إلى مثل
هذا التبريد تحظر العديد من التطبيقات وعلى مدى سنين باصل
العلماء من أجل تطوير مواد ذات موصلية فائقة أكثر ثباتا وتبقى
كذلك عند درجات حرارة أعلى

ولكن هشاشة الموصلية الفائقة بحد ذاتها هي الصفة التي
تجعلها مناسبة بصورة مثالية للاستخدام في المكاشيف الحساسة
وتعتمد مكاشيف الفوتونات الفائقة الموصلية على مقدرة طاقة فوتون
منفرد على تمزيق الآلاف من أزواج كوبر عندئذ يمكن قياس التغير
في حالة الموصلية الفائقة بعدة طرق بغية الكشف عن الطاقة التي
أعطاهما الفوتون. ولما كانت طاقة الفوتون متناسبة مع تردده، فإن هذا
القياس يدل كذلك على تردد الفوتون، وهذا هو المفتاح للحصول على
معلومات عن الجسم الذي أتى الفوتون منه

Useful Fragility (١)
gravity waves (١)
adiabatic (٢)
صفة تطلق على كل سيروورة تحدث في نظام حراري لا يصحبها
تغير في درجة الحرارة
disruption (٣)

(التحرير)

الراديوية إلى الضوء المرئي إلى أشعة كاما، تحسينا مذهلا
فالأجهزة المحسنة المخصصة لقياس استقطاب الموجات الميكروية
سوف تسير قريبا اللحظات الأولى للكون بواسطة قياس الشكل
الذي طبعته موجات الثقالة من الانفجار الأعظم على الخلفية
الكونية من الموجات الميكروية والمكاشيف القادرة على عد فوتونات
مرئية وحيدة تحسّن أمن الاتصالات الكمومية. وفي السنكروترونات
صار هناك مكاشيف فائقة الموصلية للأشعة السينية تستخدم
لدراسة التركيب الكيميائي للمواد. ويطور الباحثون مكاشيف أشعة
كاما بإمكانها القيام بعمل أكثر تميزا لتحديد هوية المواد النووية
بغية منع سرقتها أو تهريبها عبر الحدود الدولية

كذلك تتحسن الأجهزة الفائقة الموصلية. عدا كشفها الفوتونات.
اليوليميرات البيولوجية وتتقصى الجسيمات المتأثرة تأثيرا ضعيفا
التي تشكل المادة الخفية الغامضة المؤلفة خمسة أسداس المادة في
الكون. فالمكاشيف الفائقة الموصلية لاتزال في بداية تحقيق إمكاناتها
العلمية والتجارية

هشاشة مفيدة

من الغريب حقا أن تكون خاصية الموصلات الفائقة التي حدثت
من استخدامها في تطبيقات مثل نقل القدرة الكهربائية هي بالضبط
الميزة التي تجعلها قيمة بمثابة مكاشيف فوتونات فالموصلية الفائقة،
التي هي سريان التيار الكهربائي من دون مقاومة، تنشأ حين ترتبط
الإلكترونات في مادة مناسبة ببعضها ببعض لتشكل ما يسمى
أزواج كوبر Cooper pairs التي تسري عندئذ ككل، مثل مائع فائق.
وهناك تأثير ميكانيكي كمومي هش مفاده أن الموصلية الفائقة
لا تحدث في المادة إلا حين تُبرّد هذه المادة إلى ما دون درجة حرارة
منخفضة جدا، تدعى حرارة التحول الحرجة لهذه المادة. وتبريد
المادة يُنقص اهتزازات ذراتها. فإذا ارتفعت درجة الحرارة فوق
حرارة العتبية (المبدى) threshold أبعدت الطاقة الحرارية

إن المكاشيف شبه الموصلة العاملة عند درجة الحرارة العادية، مثل الأجهزة ذات الشحنات المقترنة charge-coupled devices (CCD) الموجودة في آلة تصوير رقمية، تعمل هي الأخرى بواسطة تشويش حالة كمومية في المادة. ففي حالة الجهاز CCD يصدم فوتون الضوء المرئي إلكترونات فيخرجها من نطاق طاقة في بلورة شبه موصلة ولكن الإلكترونات مرتبطة ارتباطاً

لا يكون إلا جزئياً في حالة الموصلية الفائقة وتكون الاثارات الحرارية على وشك أن تخرب الموصلية الفائقة كلياً. وأي طاقة تودع في الموصل الفائق ترفع درجة حرارته وتسبب ارتفاع مقاومته الكهربائية ارتفاعاً ملموساً. أما النوع الآخر: المكشاف الفاصل للأزواج pair-breaking فهو على العكس من ذلك، إذ يبرد إلى درجة حرارة أخفض كثيراً من درجة حرارة الانتقال ويكون في حالة الموصلية

هشاشة الموصلية الفائقة هي الصفة التي تجعلها ملائمة بصورة مثالية للمكاشيف الحساسة.

فويها في هذه النطاقات، لدرجة أن كل فوتون لا يصير عادة سوى إلكترون واحد. وهذا التحرير قليل جداً لدرجة أنه لا يكفي لتحديد تردد الفوتون. ونتيجة لذلك لا يستطيع الجهاز CCD تعيين لون الفوتون مباشرة - أما آلات التصوير الرقمية فتتشكل صوراً ملونة باستخدامها جملة مرشحات، أحدها أحمر والآخر أخضر والثالث أزرق. لا تمرر سوى الفوتونات التي تقع تردداتها في هذه المجالات وعلى النقيض من ذلك، فإن بإمكان فوتون مرئي واحد فصل الآلاف من أزواج كوبر في الموصل الفائق. ويتيح تكوين آلاف الاثارات قياس الطاقة قياساً دقيقاً، مثلما هو الأمر بالنسبة إلى استطلاع الرأي في الانتخابات الذي يكون أكثر دقة إذا استطلع رأي الألف من الناس.

وتصنف المكاشيف التي تعمل على تحسس تمرق الموصلية الفائقة في صنفين رئيسيين: النوع الحراري الذي يبرد حتى درجة حرارته الانتقالية بالضبط، وعندما

الفائقة كلياً ويقاس هذا المكشاف عدد أزواج كوبر التي تحطمت عند إبداع الطاقة فيه ويجب كذلك ذكر نوع آخر من أجهزة الموصلية الفائقة بغية استكمال الموضوع يعمل «المارز» الفائق الموصلية superconducting "mixer" مثل عضخم للإشارات الكهرومغناطيسية المنخفضة التردد مثل الموجات الميكروية، ولما كانت هذه الأجهزة لا تستخدم هشاشة الموصلية الفائقة فلا داعي للحديث عنها أكثر من ذلك في هذه المقالة.

يعتمد النوع الحراري من المكاشيف على حقيقة أن المقاومة الكهربائية للموصل الفائق ترتفع بشكل حاد من الصفر إلى قيمتها الاعتيادية في المدى الضيق جداً من درجة الحرارة الذي تتحول فيه المادة من حالتها الفائقة الموصلية إلى حالتها العادية [انظر الإطار في الصفحة المقابلة]. ويتيح التغير الفجائي في المقاومة للموصل الفائق أن يعمل عمل ميزان حرارة بالغ الحساسية. ويدعى المكشاف الذي يستخدم الانتقال الطوري

الفائق الموصلية بهذه الطريقة محسناً ذا حافة انتقالية transition-edge sensor (TES) فحين يمتص المحسّن TES فوتوناً تتحول طاقة الفوتون إلى طاقة حرارية ترفع درجة الحرارة ومن ثم تزيد مقاومة المادة بصورة متناسبة مع الطاقة المودعة. ويمكن، تبعاً للمادة التي تمتص الفوتونات، أن يستخدم المحسّن TES مثل مقياس طيف لقياس طاقة الأشعة السينية والأشعة كأمّا أو مثل عداد فوتونات عند الأطوال الموجية تحت الحمراء، حتى المرئية أو مثل مكشاف قدرة إجمالية للإشعاع عند نطاق الموجات تحت الحمراء والمليمترية.

تم تطوير أوائل المكاشيف TES في الأربعينات لكنها لم تكن عملية على مدار سنين عديدة وكانت المشكلة في أن مدى الانتقال إلى الموصلية الفائقة غالباً ما يكون أقل من جزء من ألف من الدرجة، ولذلك كان من العسير جداً إبقاء درجة حرارة الجهاز ضمن هذا المدى. وحين كنت طالب دراسات عليا مع «B كايبرا» [في جامعة سننغفورد]، كانت مجموعتنا البحثية تطور صفيقات من المكاشيف TES لأجراء تجارب تهدف إلى دراسة النيوتريونات الصادرة عن المفاعلات النووية وإلى كشف المادة الخفية. وقد تمكنا من الحصول على عدد قليل من المكاشيف TES، ولكن تغيرات ضئيلة في درجة حرارة الانتقال لمختلف المحسّنات جعلت تشغيل صفيق منها عند درجة الحرارة ذاتها أمراً مستحيلاً.

وفي عام 1998، أدركت أن حيلة بسيطة يمكن أن تحل هذه المشكلة - هي تطبيق قلطية ثابتة على المكاشيف، وهي تقنية تدعى انحياز القلطية voltage biasing تؤدي القلطية المطبقة إلى مرور تيار كهربائي عبر المكاشيف TES، وهذا يسخنها. وعند بلوغ درجة حرارة الانتقال ترتفع المقاومة، وهذا يُنقص التيار ويوقف التسخين. وهكذا يعمل التسخين الذاتي عمل ارتجاع "feedback" سالب يعمل على إبقاء درجة حرارة الغشاء ضمن مجاله الانتقالي ففي صفيق من المحسّنات المنحازة قلطياً يسخن كل محسّن ذاتياً حتى بلوغ درجة حرارته الانتقالية. حتى إن اختلفت درجات الحرارة الانتقالية عن بعضها قليلاً، كما أن الارتجاع السلبي يسرع استجابة المكاشيف وقد أدى إدخال

نظرة إجمالية/ المكاشيف الفائقة الموصلية

- إن المحسّنات القادرة على كشف جسيم منفرد من الضوء (فوتون) وتعيين طاقته أو على قياس إشارة فوتونات عديدة بصورة حساسة، لها تطبيقات علمية وتقنية لا تعد ولا تحصى، من بينها تطبيقات في: الأمن الوطني (كشف مواد يمكن أن تستخدم في سلاح نووي)، تحليل عيوب الشبكات الميكروية، الفلك، التحليل الكيميائي وفيزياء الجسيمات.
- هناك جيل ثوري جديد من هذه المحسّنات مبني على خصائص الموصلات الفائقة وباستطاعة هذه المحسّنات قياس طاقة الفوتون بدقة عالية جداً. كما تتيح المحسّنات الجديدة تشكيل الصور بسرعة كبيرة جداً.
- المكاشيف الجديدة نوعان. يعتمد النوع المسمى محسّنات حرارية على الكيفية التي تعمل بها طاقة الفوتون لرفع درجة حرارة مادة المكشاف. والنوع الآخر، المسمى مكاشيف فصل (تحتطيم) الأزواج، يحس كيف يمزق الفوتون بعض أزواج الإلكترونات المسببة للموصلية الفائقة.

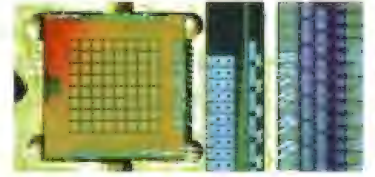
Overview/ Superconducting detectors (١)

(١) breaking، أو تحطيم

(٢) أو تغذية راجعة، أو تقييم مرتد (التحرير)

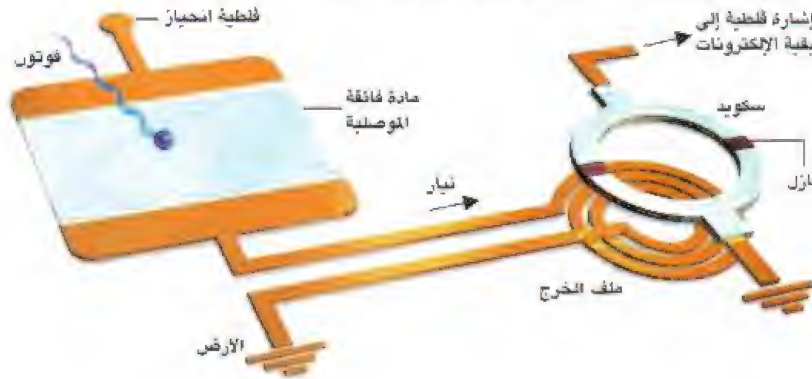
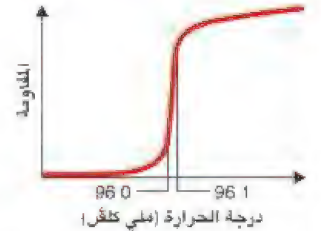
كيف يكشف موصل فائق الضوء^(١)

مكاشيف الفوتونات الفائقة الموصلية نوعان رئيسيان. نوع حراري ونوع فاصل (محطم) للأزواج وفي كلا النوعين تُعَمَّن طاقة الفوتون (ومن ثم تردده) من شدة إشارة خرج الجهار في أقصى اليسار صغيف من 64 عنصرية لحصر حراري يُستخدم في الوقت نفسه آلة تصوير بالأشعة السينية ومقياس طيف عالي الميز للأشعة السينية أما الدارة في الجانب الأيمن من الصورة فهي سكرويد مضاعف القنوات multiplexer (وصفه في الأسفل)



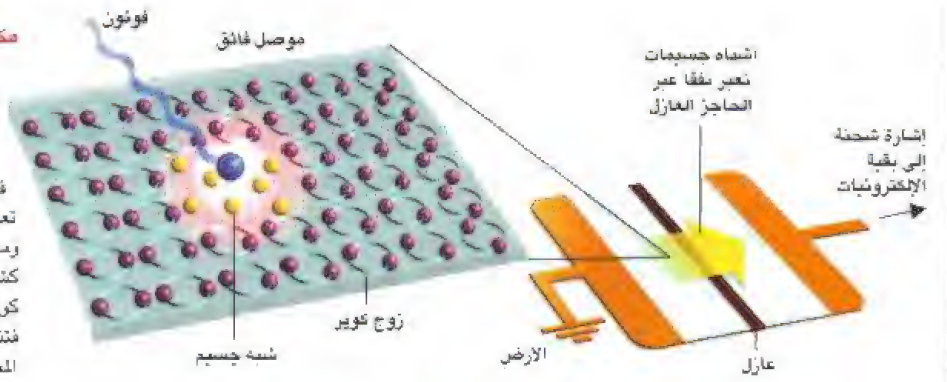
المكاشيف الحرارية

أكثر أنواع المكاشيف الحرارية الفائقة الموصلية هو المحس ذو الحافة الانتقالية transition-edge sensor الذي يبرّد إلى منتصف مدى درجات الحرارة الضيق جدا الذي تتغير فيه ماته الفعالة من فائقة الموصلية إلى عادية (المخطط العلوي) وتعمل فلطية انحياز على بقاءه مستقرا عند درجة الحرارة الانتقالية تلك وعلى سريان تيار كهربائي ثابت. وعند امتصاص المحس فوتونا فإنه يسخن قليلا مدة قصيرة (المخطط السفلي)، وهذا يؤدي إلى زيادة ذات شأن في مقاومة المحس ويقوم جهاز فائق الموصلية. يسمى السكرويد، بكشف الهبوط اللحظي في التيار ويحول هذه الإشارة إلى نبضة فلطية يمكن تضخيمها فيما بعد بواسطة الإلكترونيات المعتادة. وذلك قبل جمع البيانات



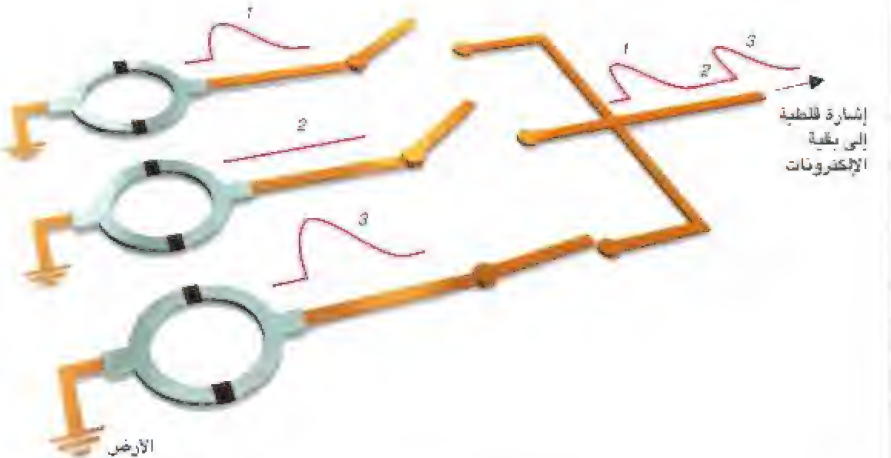
مكاشيف فاصلة للأزواج

يبرّد النوع الآخر من المحسّات كلياً إلى طوره الفائق الموصلية الذي تشكل فيه الإلكترونات أزواج كوبر. يمتلك فوتون منفرد طاقة كافية لتمزيق الأزواج كوبر، فتحططها وتحولها إلى إلكترونات مثارة تعرف بأشياء الجسيمات (الشكل الأيسر) ومع أن المادة تبقى فائقة الموصلية، فمع الممكن كشف أشياء الجسيمات لأنها، بخلاف أزواج كوبر، تستطيع العبور بغير الحاجز العازل فتنتج نبضة شحنة تمرر إلى الإلكترونيات المعتادة (الشكل الأيمن)



إرسال صورة بواسطة مضاعفة القنوات

يتم تشكيل الصورة بصورة بواسطة صغيفات كبيرة من المكاشيف، لكن جميع إشارات الخرج الآتية من المكاشيف يجب أن توجد في عدد أصغر من خطوط البيانات، وهذه سيورة تعرف بمضاعفة القنوات multiplexing فعلى سبيل المثال، توصّل مخارج عدد من السكرويدات إلى خط بيانات واحد، فيما تسمى مضاعفة القنوات بتقسيم الزمن، إلى المحسّات ذات الحافة الانتقالية وتعمل السكرويدات عمل مبدلات تعلق بالتتابع واحدا إثر آخر فتحول شكل إشارات المكشّف (3:1) إلى متتالية من النبضات وتقوّم الإلكترونيات فيما بعد بتحديد أي نبضات تخص كل مكشّف بواسطة التوقيت الدقيق

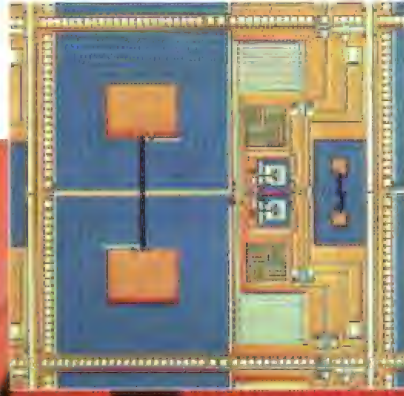


الفلك دون المليمترى

نتج الأرصاد الفلكية عند أطوال موجية أقصر قليلا من المليمتر دراسة مناطق داخل السحب الجزيئية تكون مخفية عند أطوال موجية أخرى فمثل هذه السحب تقوم بدور مهم في مناطق تشكل الكواكب والنجوم والمجرات وسوف يصبح تناول هذا المدى المستعصي من الأطوال الموجية أكثر سهولة بكثير مع تطوير آلة التصوير SCUBA-2 التي سوف تتركب في مقراب جيمس كليرك ماكسويل (في اليمن) على قمة مونا كيا Mauna Kea في هاواي في عام 2007 ونحوي آلة التصوير ثمانية صلبقات في كل منها 1280 مصفاة حافة انتقالية



سوف تربط صفيق من المحسات التي الأسفل) بتشيبة سكويك متعدد القنوات ويبين التفصيل في اليسار عنصورة واحدة من المازج المتعدد



معدومة ولذا ينبغي أن يكون المكشاف الفاصل للأزواج قادرا على التمييز بين أزواج كوبر وأشياء الجسيمات

إن أحد الأجهزة القادرة على القيام بهذه المهمة هو الوصلة النفقية الفائقة الموصلية superconducting tunnel junction، المؤلف من غشائين فائقي الموصلية تفصلهما طبقة رقيقة من مادة عازلة. فإذا كان العازل رقيقا لدرجة كافية (نحو 2 نانومتر)، أمكن للإلكترونات أن تعبر من أحد جانبي الحاجز إلى الجانب الآخر بواسطة سيرورة تعرف بالعبور النفقي الكمومي quantum-mechanical tunneling،

ويؤدي تطبيق مجال مغنطيسي صغير إلى مع أزواج كوبر من العبور النفقي عبر الوصلة، فلا يستطيع العبور إلا أشباه الجسيمات. بعد ذلك يمكن تطبيق فلتية على الجهاز. فلا يمر تيار إلا حين يمر تيار أحد الغشائين الفائقين الناقلية

انحياز الفلتية إلى نمو هائل في تطوير صفيقات المكاشيف TES في العالم كله

عدّ أشباه الجسيمات

لا يمكن للمكشاف الفاصل للأزواج أن يعتمد على التغير في المقاومة الكهربائية لكي يعطي إشارة امتصاص فوتون. بخلاف المحس الحراري فالفوتون الوارد يحطم أزواج كوبر ويكوّن أشباه جسيمات يمكن اعتبارها، لمعظم الأغراض، بمثابة إلكترونات حرة في مادة أخرى فائقة الموصلية ويكون عدد أشباه الجسيمات المستحدثة متناسبا مع طاقة الفوتون. ولكن لما كان المكشاف مبرداً إلى ما دون درجة حرارته الانتقالية بكثير، فلا يزال ثمة بحر من أزواج كوبر السالمة، وبذا تبقى المقاومة الكهربائية

فوتونا يولد أشباه جسيمات. وتكون نبضة التيار الناتجة متناسبة مع عدد أشباه الجسيمات المستحدثة وإذا مع طاقة الفوتون وتردده.

يقوم حاليا فريق يقوده «J. زميدزينا» [من معهد كاليفورنيا للتقانة] و«P. داي» [من مختبر الدفع النفاث Jet Propulsion] بتطوير جهاز آخر لقياس عدد أشباه الجسيمات في موصل فائق وهو يدعى مكشاف التحريضية (المحاةة) الحركية الميكروية الموجات

microwave kinetic inductance detector وهو يستفيد من حقيقة أن بنية فائقة الموصلية يمكن أن يكون لها تجاوب (رنين) كهرومغنطيسي عند تردد الموجات الميكروية مثلما أن للشوكة الرنانة tuning fork تجاوبا ميكانيكيا عند تردد مسموع (الشوكة الرنانة تتذبذب فيما الموصل الفائق يفسح مجالا لتيار كهربائي مهتز). فحين تكون الفوتونات أشباه جسيمات في موصل فائق يصبح التجاوب أقل حدة ويتباطأ انتشار الموجة. وهذا يخفض تردد التجاوب ويتناسب الانزياح في كل من تردد التجاوب وفي حدته مع عدد أشباه الجسيمات والنتائج الأولية من هذه الأجهزة واعدة إلى أبعد حد

إن المكاشيف الفائقة الموصلية المنفردة مفيدة لبعض التطبيقات، مثل تحليل المواد، لكن التصوير العملي يتطلب صفيقا كبيرا من المكاشيف (أو العناصر) شبيهها بصفيق الأجهزة CCD في آلة التصوير الرقمية وتبرز مشكلة عند وصل صفيق المكاشيف البالغ البرودة بالإلكترونيات المرفقة به الواقعة في درجة الحرارة العادية: لو مرر المرء ببساطة سلكا من كل عنصر لتدفقت كمية كبيرة من الحرارة في الأسلاك، وهذا يخرب الموصلية الفائقة للمكشاف والطريقة الأفضل هي استخدام توصيلات داخل الجزء البالغ البرودة من الجهاز بصورة تتحد، أو تنضم multiplexed، فيها الإشارات الآتية من العديد من العناصر فتسري في عدد قليل من الأسلاك تصل بين الجزء البارد والإلكترونيات الدافئة

وأكثر الصفيقات المتاحة تقدما، الفائقة الموصلية المتعددة قنواتها، أساسها المكاشيف TES. وكما بينا آنفا، حين يمتص المكشاف TES فوتونا يتغير التيار عبر المكشاف لكن التيار صغير جدا ولذلك يقاس بواسطة

SUBMILLIMETER ASTRONOMY 11
Counting Quasiparticles 101

وصل كل عنصرية بجهاز تداخل كمومي فائق التوصلية superconducting quantum interference device (أو سكويد SQUID) لا يحد من حساسيته سوى الميكانيك الكمومي [انظر «أدوات تداخل كمومية فائقة التوصيل» العلوم العدد 10 (1996)، ص 51]

يحول السكويد نبضة التيار الصغيرة جدا إلى إشارة فائقة كبيرة لدرجة تكفي لأن تقاس بواسطة الإلكترونيات العادية. ويمكن مضاعفة قنوات إشارات الخرج من العديد من السكويديات بجمع فائقاتها وإرسال المحصلة في سلك واحد، إلا أن هناك ما ينبغي القيام به بعد ذلك لكي يكون بالإمكان تمييز الإشارات الآتية من كل مكشاف على حدة ففي مضاعفة القنوات ذات التقسيم الزمني time-division multiplexing تُستعمل السكويديات واحدا واحدا، في حين في مضاعفة القنوات ذات التقسيم الترددي frequency-division multiplexing تعمل السكويديات عند ترددات مختلفة. وهذا يتيح فصل (تحليل) إشاراتنا لاحقا

كذلك يمكن مضاعفة قنوات العناصر في مكشاف التحريضية (الحثية) الحركية الميكروية الموجات (النوع الذي يهتز مثل الشبكة الرنانة) بواسطة توليفها عند ترددات تجاوزية (ربيعية) مختلفة ووصلها جميعها على التوازي وقرأتها بواسطة ترانزستور بارد واحد وخط خرج واحد يصل إلى مضخم في درجة الحرارة العادية وقد تبين حتى الآن أن مضاعفة قنوات صغيفات كبيرة من مكاشيف الوصلة النفقية أمر صعب، مع أن التقنيات الجديدة لاستعراض قراءة الموجات الميكروية يمكنها أن تجعل الصغيفات المتعددة قنواتها ممكنة التحقيق

تطبيقات لا تعد ولا تحصى

إن المكاشيف الفائقة التوصلية المتاحة اليوم أكثر حساسية 100 إلى 1000 مرة من المكاشيف العادية التي تعمل عند درجة حرارة الغرفة وهذه الأجهزة تحسن القياسات في مدى واسع من المجالات.

منع انتشار الأسلحة النووية والدفاع الوطني. إن إحدى الأولويات الدولية المستعجلة هي مراقبة انتشار المواد النووية التي يمكن أن تستخدم في هجوم يقوم به إرهابيون أو دول مارقة. تحتوي المواد النووية

على نظائر غير مستقرة تصدر الأشعة السينية وأشعة كاما وتوافر الطاقات المميزة لهذه الفوتونات بصمة تكشف عن ماهية النظائر المشعة الموجودة ولكن لسوء الحظ تُصدر بعض النظائر الموجودة في تطبيقات حميدة أشعة كاما ذات طاقات شبيهة جدا بتلك التي تصدرها مواد تستخدم في الأسلحة، وهذا يؤدي إلى تحديد ملتبس وإلى تحذيرات زائفة

يحتاج التصوير العملي إلى صغيف كبير من المكاشيف، شبيه بصغيف الأجهزة CCD في آلة التصوير الرقمية

كانت هذه المشكلة تترك الولايات المتحدة التي تتركب الآلاف أجهزة مراقبة الإشعاع عند المداخل الحدودية لكشف أشعة كاما التي تصدرها المواد النووية المحمولة في عربات تعبر الحدود الكندية والمكسيكية فأحد أكبر مخاوفنا هو أن يتمكن الإرهابيون من تهريب يورانيوم عالي التخصيب (من النوع الذي يستخدم في الأسلحة) إلى البلاد لصنع قنبلة ذرية بذاتية من النمط الذي ألقى على هيروشيما [انظر «إحباط الإرهاب النووي» العلوم العددان 9/8 (2006)، ص 46] إن البصمة الأولى لليورانيوم العالي التخصيب تتمثل في أشعة كاما ذات الطاقة 185.7 كيلو إلكترون فلت (keV) الصادرة عن اليورانيوم 235، لكن أشعة كاما هذه لها الطاقة نفسها تقريبا مثل أشعة كاما 186.1 keV التي تصدر عن الراديوم 226 الموجود في الطين في الحاويات المخصصة للقط وفي مواد أخرى، وهذا يجعل التمييز بين الاثنين صعبا جدا هذه المشكلة المسماة kurtz later problem مشكلة حاوية الهرة هي أكبر مصدر للتحذيرات الزائفة عند حدود الولايات المتحدة.

وقد قام فريق يقوده «A. رابين» [من مختبر لوس ألاموس الوطني] و «أ. أولوم» [من المعهد الوطني للمعايير والتقانة (NIST)] في بولدر بكولورادو وفريق آخر [في مختبر ليفرمور الوطني] بتطوير مكاشيف أشعة كاما مبنية على أساس النفقة TES وتتمتع بقدرة تمييز طاقة تفوق أكثر من عشر مرات تلك التي

للمكاشيف العادية، إذ تستطيع هذه المكاشيف فصل عدد أكبر من الخطوط في طيف أشعة كاما المعقدة للمواد النووية. مثل مزارع نظائر اليورانيوم والبلوتونيوم [انظر الرسمين البيانيين في الصفحة 50]. وقد طُوِّرت هذه الأجهزة خصوصا للمساعدة على التحقق من المعاهدات الدولية حول عدم الانتشار، وذلك بواسطة تعيين المحتوى من البلوتونيوم في الوفود النووي المستهلك ولكن بإمكانها أن تميز كذلك بين

الراديوم 226 في حاويات القطط واليورانيوم 235 في اليورانيوم العالي التخصيب فلو أن مكشفا عاديا محمولا باليد أو جهاز مراقبة المداخل كشف إشارة أشعة كاما، لكان بالإمكان استخدام أحد الأجهزة الفائقة التوصلية أداة لمناوبة التمييز بصورة لا لبس فيها بين هذين النظيرين. فينتفي بذلك العديد من التحذيرات الزائفة.

تحليل التسيجات الميكروية. أحد التطبيقات المهمة في صناعة أشباه الموصلات هو التحليل الميكروي (الدقيق) بواسطة المجس الإلكتروني. فحين يشكل مجهر إلكتروني ماسح scanning electron microscope صورة لعينة ما، فإن حزمة الإلكترونات تجعل العينة تصدر أشعة سينية فيمكن إذا تعيين تركيب العينة الكيميائي في النطاق النانومتري للحزمة بواسطة قياس طاقات مختلف الأشعة السينية الصادرة وحين تفسح الحزمة كامل العينة تظهر الصورة الحاصلة أين توجد مختلف المركبات الكيميائية، فتعطي خريطة للبنى التي تحدد كيفية عمل الشبكية الميكروية

تستخدم صناعة أشباه الموصلات حاليا مكاشيف شبه موصلة للأشعة السينية مية دراسة البنى والعيوب الموجودة على الشبكات الميكروية ولكن لما صارت الشبكات الميكروية تستخدم بنى أصغر، فإن الأمر يتطلب جيلا جديدة من أدوات التحليل الميكروي تتصف بحساسية أعلى وقد تصدت مجموعتي في

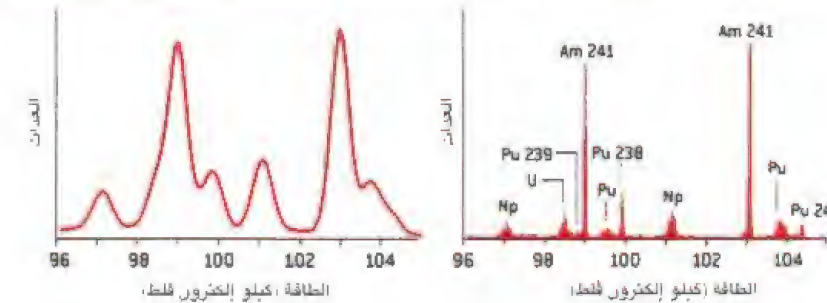
Mixed Applications
electron probe microanalysis (1)

98 في المئة من الفوتونات التي انبعثت منذ الانفجار الأعظم، ويتيح هذا المدى، ضمن ما يتيح، رصد مناطق داخل السحب الجزيئية تكون مخفية عند الأطوال الموجية الأخرى يعمل المكشاف SCUBA بواسطة كشف تسخين عنصروراته شبه الموصلة المبردة البالغ عددها 128. وهذه عملية أبطأ وأقل حساسية بكثير من التقانة الفائقة التوصلية المعتمدة في المكشاف SCUBA-2.

سيكون المكشاف SCUBA-2، حين يستكمل، مؤلفاً من 10 000 عنصورة استعراض قراءة المكشاف TES مع مضاعفات قنوات multiplexers فائقة التوصلية، وسوف يتيح تصوير أحسام فلكية بأربعة أكبر حتى 1000 مرة. وقد صُنعت صءيفات النموذج الأولي للمكشاف SCUBA-2 ذات 1280 عنصورة [أنظر الإطار في الصفحة 48] وينبغي أن تكون آلة التصوير الكاملة في حالة عمل في المقرب بحلول عام 2007. وهناك العديد من منظومات المكشاف الفائقة التوصلية في مجالي الموجات المليمترية ودون المليمترية قيد التطوير لختلف المراصد والسواقل.

الكوسمولوجيا (علم الكون)، في السنين الأخيرة أتت بعض أهم الاكتشافات حول فهمنا للكون من قياس إشعاع الخلفية الكونية من الموجات الميكروية cosmic microwave background (CMB) فالفوتونات في الخلفية الكونية CMB هي صورة لحظة للكون بعد نحو 400 000 سنة من الانفجار الأعظم، لأن معظم فوتونات الخلفية CMB مرت عبر الكون أثناء الـ 13.1 بليون سنة الماضية من دون أي تغيير. وأحدثت الموجات الصوتية في بلازما الكون المبكر نماذج في إشعاع الخلفية CMB برأها الفلكيون اليوم [أنظر «السيمفونية الكونية» **العلوم**، العددان 5/4 (2004)، ص 56]. وقد أظهرت قياسات هذه النماذج، إضافة إلى ارضاد كوسمولوجية أخرى، أن 5 في المئة من الكون الحالي فقط يتألف من المادة والطاقة العاديتين المألوفتين بالنسبة إلينا، وأن نحو 22 في المئة هي مادة خفية dark matter و 73 في المئة هي حقل غامض يعرف بالطاقة الخفية dark energy.

وإضافة إلى النماذج المتنافسة عن الموجات الصوتية هناك نماذج أكثر رهافة ينبغي أن تكون قد طُبعت على استقطاب إشعاع الخلفية الكونية CMB بواسطة



تُستعمل المكشافات حالياً في المرافق وأمكنة أخرى التحري عن المواد النووية المهربة إلى البلاد (الصورة). ليس بمقدرة المكشاف شبه الموصلة العادية التعبير بين بعض النظائر في عينة اختبار (الرسم البياني الأيسر) أما القياسات التي تجرى بواسطة مكشاف فائق التوصلية فتعكسها فصل الخطوط جميعها بوضوح (الرسم البياني الأيمن)، بما في ذلك وجود البلوتونيوم 239، النظير المفضل للأسلحة النووية.

مقراب telescope جيمس كليرك ماكسويل فوق قمة مونا كييا Mauna Kea في الجزيرة الكبيرة بهاواي وسوف يحل المكشاف SCUBA-2 محل المكشاف (Submillimeter Common-User Bolometer Array) SCUBA الذي هو مكشاف أساسه صفيق من أشباه الموصلات كان قد طورده مركز التقانة الفلكية البريطاني والمكشاف SCUBA يصور مناطق تشكل الكواكب والمجسم والمجرات بواسطة كشف الأشعة التي أطوالها الموجية دون المليمتر. وهي أقصر من الموجات الميكروية لكنها أطول من الضوء المرئي وحتى زمن قريب، لم يكن باستطاعة الفلكيين الوصول إلى هذا المدى من الأطوال الموجية، لأن طاقة الفوتونات في النطاق دون المليمترية صغيرة لا تكفي لإحداث إثارة في شبه الموصل، لكن تردها أعلى من أن يمكن تضخيمه بصورة فعالة بواسطة مستقبيلات شبيهة بمستقبلات الراديو ولكن المدى دون المليمترية حقيق نان يتابع، لأنه يحتوي على

المعهد NIST لهذا التحدي بأن طورت منظومة تحليل ميكروي صلبة على أساس المكشاف TES ذات قدرة ميز طاقة أفضل 80 مرة من المكشاف شبه الموصلة المتوافرة تجارياً، وهذا مكنها من فصل العديد من قمم الأشعة السينية الطيفية المهمة ومثل هذه المخطومات للتحليل الميكروي صارت حالياً متاحة تجارياً.

الفلك دون المليمترية، الفلك حقل حافل بالفرض بالنسبة إلى المكشاف الفائقة التوصلية وكثيراً ما كان الفلكيون وراء تطوير تقانات مكشافات جديدة بسبب حاجتهم إلى قياس إشارات ضعيفة جداً أتت من أحسام نائية.

تعمل مجموعة في المعهد NIST مع مركز التقانة الفلكية البريطاني في إدنبورج ومع الشركة Raytheon Vision Systems في كوليتا بكاليفورنيا ومع جامعات في المملكة المتحدة وكندا لتطوير آلة تصوير فائقة التوصلية تدعى SCUBA 2 لاستخدامها في

استخدامات أخرى

صارت المكاشيف الفائقة التوصيلية، إضافة إلى استخداماتها المذكورة في النص الرئيسي، تستخدم في المجالات الآتية

- مطيافية الأشعة السينية في السنكروترونات (اليمن)
- بما في ذلك التحليل الكيميائي للمعادن في البيرونيات وفي عينات أخرى
- الكشف الفعال عن بوليمرات بيولوجية كبيرة وعن شظايا الدنا DNA في مقاييس الطيف الكتلي. وهذا له تطبيقات في الجينوميكيات (علم الجينوم) genomics والبروتيوميكيات (علم البروتينات) proteomics واكتشاف الأدوية وتحليل المركبات الطبيعية
- عد الفوتونات عند الأطوال الموجية (تحت الحمراء)
- المستخدمة في الاتصالات من أجل التعمية الكمومية
- البحث عن جسيمات كبيرة الكتلة متأثرة تأثيراً ضعيفاً، يفترض أنها تشكل المادة الخفية في الكون

K. D. I.



تجربة في السنكروترون في مختبر لورنس بيركلي الوطني

sa

لمزيد حول عد الفوتونات وتطبيقات المادة الخفية انظر: www.sciam.com/ontheWeb

المهندسون على تطوير نظم تبريد cryogenic systems أصغر وأرخص لتبريدها وسوف يكون لهذه الصفيقات الكبيرة الفائقة التوصيلية تأثير حتى في مجال أوسع من فروع المعرفة وسوف تبقى الصفيقات ذات «عنصريات» أقل من تلك التي في الشبكية البشرية، إلا أنها سوف تأخذ الرؤية البشرية إلى عوالم جديدة منيرة من الاكتشاف

Grant Arrays : ()

Other Uses : ()

جهاز شديد البرودة يحفظ درجة الحرارة في داخله بحيث تكون أقل مما هي في خارجه (التبريد)

تماماً إلا بعد أن أخذت الصور بواسطة صفيقات كبيرة جداً من العنصريات وإذا نظرنا إلى المستقبل وجدنا أن صفيقات ذات مقياس كبير من المكاشيف الفائقة - تحوي حتى 10 000 عنصورية عند الأطوال الموجية الميسرتية وملايين العنصريات في نطاق الأشعة السينية - سوف تُطوّر باستخدام تقنيات تصنيع جديدة ويتضمن مضاعفة قنوات الإشارة عند الترددات الميكروية، وهذا سوف يتيح استعراض قراءة عدد أكبر كثيراً من العنصريات في سلك واحد ويعمل

المؤلف

Kent D. Irwin

يقود مشروع المحسّنات الكمومية في المعهد الوطني للمعايير والتقانة NIST في بولدر بولاية كولورادو وهو أستاذ مساعد للعلوم الفيزيائية العلكية والكوكبية بجامعة كولورادو في بولدر وقد حصل على البكالوريوس من معهد كاليفورنيا للتقانة وعلى الدكتوراه من جامعة ستانفورد. تشمل اهتماماته البحثية القياسات الدقيقة للأشعة الكهرومغناطيسية للفيزياء الكونية وكذلك الحدود الترموديناميكية والكمومية للمحسّنات والمكاشيف. حصل على جائزة هارفرد للمالية الذهبية لوزارة التجارة وعلى جائزة البحث التطبيقي للمعهد NIST لعمله في المكاشيف الفائقة التوصيلية

مراجع للاستزادة

Low-Temperature Particle Detectors. Norman E. Booth, Blas Cabrera and Ettore Fiorini In Annual Reviews of Nuclear and Particle Science. Vol. 46, pages 471-532, 1996

Quantum Calorimetry. Caroline K. Stahle, Dan McCammon and Kent D. Irwin in Physics Today, Vol. 52, No. 8, pages 32-37, August 1999

Seeing Single Photons. Graham P. Collins in Scientific American, Vol. 290, No. 1, page 17, January 2004

Transition-Edge Sensors. K. D. Irwin and G. C. Hilton in Cryogenic Particle Detection. Edited by Christian Enss. Springer-Verlag, 2005

Scientific American, November 2006

موجات الثقالة التي كانت قد تولدت أثناء فترة تمدد كوني آسي يعرف بالتضخم inflation وهو ما يسمى الخلفية الكونية من الموجات الثقالية cosmic gravity-wave background (في الضوء المستقطب يكون المجال الكهربائي من الموجة الكهرومغناطيسية ذا منحى معين عوضاً عن أن يكون مهتزاً في جميع الاتجاهات بصورة عشوائية). وقد نشأ استقطاب الإشعاع CMB هذا حين تبعثر الإشعاع عن البلازما الأولية، تماماً مثلما يستقطب الضوء المرئي حين ينعكس عن سطح ما.

سرعان ما سيستخدم الفلكيون مكاشيف فائقة التوصيلية ذات حساسية للاستقطاب للبحث عن الخلفية الكونية من الموجات الثقالية. في البداية سوف تستخدم هذه الأجهزة مقاييس متخصصة موجودة على الأرض وكذلك محمولة في مناطيد عالية الارتفاع. وفيما بعد، تخطط الوكالة ناسا لإطلاق سائل يدعى مجس التضخم Inflation Probe للقيام بالقياسات النهائية لاستقطاب الخلفية CMB. ويمكن أن يوازر القياس الناجح لنماذج الموجات الثقالية هذه فهما أعمق للفيزياء التي كانت سائدة أثناء الجزء الأول من ترليون من ترليون من ترليون من الثانية بعد الانفجار الأعظم، حين حدثت التغيرات عند الطاقة التي كانت القوى جميعها عندها، ما عدا الثقالة، موحدة في قوة واحدة كان الفيزيائيون يحلمون دائماً، منذ أينشتاين، بالتفري المباشر لنظام «التوحيد الكبير» هذا، إلا أن طاقة أكبر مسرعات الجسيمات الموجودة على الأرض أخفض ترليون مرة من الطاقة اللازمة، وسوف تساعد المكاشيف الفائقة التوصيلية العلماء على استخدام مختبر الكون للوصول إلى طاقات لا يمكن الوصول إليها أبداً بالتجارب الأرضية

صفيقات عملاقة

إن الإمكانيات الكاملة للمكاشيف الفائقة التوصيلية لم تتحقق بعد، على الرغم من التقدم الهائل الذي أُحرز في تقانة هذه المكاشيف في العقد الماضي. وأهمية الأجهزة CCD لم تُدرك

أسرار البراكين العملاقة

تكشف بلورات ميكروية في الرماد البركاني عن أدلة
مدهشة على أكثر الانفجارات البركانية تدميراً في العالم

by N. Baideman

الرواسب على الكرة الأرضية من الصخور
البركانية التي توضع خلال انفجار بركان
واحد وبحسب ما توصل إليه الباحثون فإن
تلك الرواسب ما هي إلا بقايا براكين
عملاقة - أكبر بمئات، بل بألاف، المرات من
البركان Mount Saint Helens المشهور في
ولاية واشنطن عرف الباحثون، من المقاس
المفرط للكنديرات والحجم العملاق المقدّر من
المواد البركانية المندفعة، أن حجم حجلات
الصخور المنصهرة الموجودة تحتها كان
هائلاً أيضاً

وبسبب ندرة وجود قشرة قارات
continental crust ثخينة ومصادر حرارية
ضرورية لأحداث امثال هذه الحجلات
الكبيرة جداً من الصحارة، فإن وجود
البراكين العملاقة نفسها نادر أيضاً فخلال
المليون سنة الماضية، قذفت هذه البراكين
في ان واحد نحو 750 كيلومترا مكعباً على
الأقل من الصحارة في أربع مواقع فقط:
موقع يلوستون ناشيونال بارك في ولاية
وايومنك وموقع لونك ثالي في ولاية
كاليفورنيا وموقع طوبا Toba في جزيرة
سومطرا واخيراً موقع تاوपो Taupo في
نيوزيلندا هذا ويستمر البحث عن اندفاعات
بركانية كبيرة جداً مماثلة في المناطق
الأخرى التي تتمتع بقشرة قارات ثخينة،
كما هي الحال في غرب أمريكا الجنوبية
وأقصى شرقي روسيا

وفي الأحداث الماضية خلال سبعينيات
القرن الماضي، أظهرت التحقيقات الأسلوب
الذي يمكن أن تتشكل به حجلات الصحارة
وتصبح خطرة ففي موقع يلوستون وتحت

انفجار اندفاع كبير، ومع ذلك تلمح الأعمال
الجارية إلى أن انبعاثات بركان عملاق
يمكن أن تطلق تفاعلات كيميائية مزعجة
في الغلاف الجوي جاعلة الأشهر التي
تعقب مثل هذا الحدث أكثر خطورة مما
كان يظن من قبل

يسود اتفاق كامل تقريباً بين جميع
خبراء البراكين أنه من غير المحتمل إلى أبعد
الحدود أن يعاني الذين يعيشون حالياً على
الكرة الأرضية تأثيرات بركان عملاق ناشط
إذ تنزع الانفجارات البركانية الكارثية إلى
الحدوث مرة واحدة كل عدة مئات من الألف
السنين ومع ذلك فإن ضخامة مثل هذه
الأحداث وتأثيراتها في الكرة الأرضية
هيمنت على اهتمام العلماء منذ خمسينات
القرن الماضي

رغبة مبكرة

من الأشياء الأولى التي اكتشفها
الجيولوجيون، وديان دائرية ضخمة - بقطر
يرواح بين 30 و 60 كم وعمق عدة
كيلومترات - وهذه الوديان تبدو مشابهة
على نحو لافت للنظر إلى الكنديرات
calderas الحوضية الشكل التي تقع على
قمة الكثير من براكين الكرة الأرضية
المشهورة تتشكل الكنديرات بصورة
نموذجية عندما تفرغ حجرة الصخور
المنصهرة الواقعة تحت مقبس بركاني
محتواها (من الصهارة magma) إلى سطح
الأرض مسببة بذلك انهيار الأراضي التي
فوقها ويلاحظ أن هذه الوديان الشبيهة
بالكنديرات تقع بالقرب من بعض أكبر

تحت سطح الأرض في ولايتي كاليفورنيا
وايومنك، يكمن بركانان في حالة سبات
كانا قد ضربا المنطقة بعنف بالغ لا يمكن
تصوره، وإذا ثارا فقد يغطيان خلال ساعات
غرب الولايات المتحدة بسنتيمترات متعددة
من الرماد البركاني وبالفعل فقد ثارا على
الأقل أربع مرات خلال المليون سنة
الماضية وثمة براكين عملاقة أخرى مماثلة
تكمن تحت اندونيسيا ونيوزيلندا

ويكون لانفجار بركان عملاق (سوبر
بركان) supervolcano القوة المدمرة نفسها
لتجيم صغير يصطدم بالأرض - وقد تكون
هذه القوة أحياناً أشد بعشر مرات، ما
يجعل مثل هذا الانفجار أحد أكثر الكوارث
الطبيعية تدميراً وينبغي للبشر توقع حدوثها
وإضافة إلى ما نسبته البراكين العملاقة
الثائرة من دمار مباشر ناجم عن تدفق
الرماد البركاني المحرق، نقذف هذه البراكين
العملاقة الناشطة غازات تؤدي فيما بعد إلى
تقلبات مناخية خطيرة على الكرة الأرضية قد
تدوم عدة سنوات

ولذلك يتلهف الباحثون إلى معرفة
الأسباب التي تؤدي إلى اندفاع البراكين
العملاقة ومعرفة كيفية التنبؤ بزم من ما
سوف تحدثه ثانية من دمار وما هي
التحديات التي يمكن أن تستتبع آثارها
الكارثية وقد أشارت التحاليل الحديثة
للبلورات الميكروية في رواسب الرماد
البركاني الناتج من الانفجارات البركانية
القديمة إلى بعض الأجوبة وهذه الأفكار،
إضافة إلى التقنيات المحسنة لمراقبة مواقع
الكوارث المحتملة، جعلت العلماء أكثر ثقة
بإمكان تحديد إشارات منذرة قبل وقوع



خلفه من النار تنفجر من منافس بركانية عملاقة
بحجم الحمل حول الحافة الخارجية لبركان عدداً
ناشط وسحب حارة وخائفة تحجب الرؤية، وهي
مؤلفة من الغاز والرماد البركاني

الصهارة المنضغطة القشرة الأرضية المتوضعة فوقها بمقدار كاف لإحداث شقوق شافية تنفذ حتى سطح الكرة الأرضية تدفع الصهارة نحو الأعلى في هذه الشقوق الجديدة الواحد بعد الآخر لتشكل، في آخر الأمر، حلقة من المنافس vents البركانية (الاندفاعية) وعندما تلتحم هذه المنافس (١٠) طبقة في باطن الأرض ثباتها 2900 كم تقع بين لب الأرض المنصهر وطبقة القشرة الأرضية الخارجية الرقيقة سيبا (١١) أو الانغراس (التحرير)

يقع فوق نطاق الانغراس subduction zone حيث تغرق فيه صفيحة تكتونية تحت صفيحة أخرى إذ يسبب تقارب الصفيحتين تاجاً حرارياً واسع الانتشار خصوصاً من خلال الانصهار الجزئي لوشاح الأرض فوق الصفيحة المنغصرة وبصرف النظر عن منشأ الحرارة، فإن الضغط في حبرات الصهارة يزداد مع الزمن مع تجمع المزيد من الصهارة فيها وتحت تأثير الوزن الهائل للصخور الموجودة فوقها ويحدث الاندفاع البركاني الكبير بعد أن ترتفع

سطح أرضها تتحرك صفيحة أمريكا الشمالية التكتونية فوق دفق plume عائم من صخور منصهرة حارة لزجة القوام يصعد من وشاح الأرض mantle وهذا الدفق الحار الذي يدعى البقعة الحارة hot spot ويقوم بوظيفة حراق بنزين Bunsen صخم أدى إلى صهر بمقدار كاف، القشرة الأرضية المتوضعة فوقه ليحفز الاندفاعات البركانية الكارثية خلال الـ 16 مليون سنة الماضية. أمّا في موقع طوبا بجزيرة سومطرا فيبدو أن أسلوب منشأ حبرات الصهارة يكون مختلفاً فهذا المكان

بعضها ببعض لا يبقى للأسطوانة الصخرية الكبيرة المتشكلة ضمن حلقة المنافس أي دعامة تحملها وهذا «السقف» ينهار، قطعة واحدة أو كتلا مجزأة، على ما تنقش من الصهارة في الحجر، مثلما ينهار سقف منزل فقد دعائمه وهذا الانهيار يدفع نحو الأعلى وبشدة مزيدا من الغاز واللابة بحيث يتفجر على محيط حلقة المنافس (انظر الأطار في الصفحتين 56 و 57)

أخذ بصمات الاندفاعات البركانية

لا يزال الغموض مستمرا. فمن الواضح، كما يدرك الباحثون اليوم، أن كل حجرة كبيرة من الصهارة لا تنفجر بالضرورة بصورة كارثية. فمثلا يعد موقع يلوستون موطننا لأحداث انفجارية تمثلها ثلاث كلديرات لأحدث البراكين العملاقة في العالم. تشكلت على التوالي الواحدة فوق الأخرى قبل 2.1 مليون سنة و 1.3 مليون سنة والآخرى قبل 640 000 سنة. ومع ذلك، في الفترات الفاصلة بين هذه الأحداث الانفجارية، كانت حجرة الصهارة تطلق أحيانا ممالحة من الصهارة ببطء وهدوء ولا يزال حتى الآن سبب صعود الصهارة أحيانا ببطء نحو سطح الأرض غامضا.

إن البحث في تركيب بلورات صغيرة محنزة داخل اللابة والرماد البركاني في موقع يلوستون، أشار إلى جواب جزئي، وذلك بتقديم فكرة جديدة عن كيفية تشكل الصهارة ولعقود من الزمن. افترض الجيولوجيون أن الصهارة تستقر كحوض من الصخور المنصهرة للملايين من السنين في زمن من الأزمان، وفي كل زمن ينسكب

جزء منه إلى سطح الأرض نحو صهارة مباشرة كمية جديدة من الصخر المنصهر تصعد من الأسفل لتعيد ملء حجرة الصهارة من جديد. فإذا كان هذا التصور صحيحا سيتوقع المرء الكثير الكثير من الاندفاعات البركانية العملاقة والكارثية، بسبب تعدد حفظ كتل الصهارة الكبيرة في القشرة الأرضية من الناحيتين الميكانيكية والحرارية من دون تفريغها بصورة متكررة.

اعتمدت الفكرة القديمة اعتمادا كبيرا على ما يدعى تحليل كامل الصخر الذي يسمح للباحثين بالحصول على مجموعة واحدة من القياسات الكيميائية لكل عينة بحجم قبضة اليد جمعها الباحثون من الصخر البركاني ووفرت تلك البيانات أنماطا عامة ومهمة لتطور الصهارة، ولكنها كانت غير كافية لتحديد عمر الصهارة المغدوفة والعمق الذي تشكلت فيه.

إن كل كتلة من الصخر الاندفاعي مكونة في الواقع من آلاف البلورات الصغيرة وكل بلورة تنفرد بعمرها وتركيبها ومجريات تشكلها عن غيرها من البلورات. وهكذا عندما امكن للتقدم التقني في أواخر الثمانينات من القرن الماضي من تحليل البلورات الفردية بدقة مقبولة، كان ذلك بمثابة قراءة فصول منفردة من كتاب وليس الاعتماد على قراءة دعاية التعريف به على غلاف هذا الكتاب لشرح موضوعه. بدأ الباحثون بإدراك أن بعض البلورات - ومن ثم الصهارات التي تشكلت ضمنها في الأصل - نشأت على سبيل المثال بزمن أبكر من غيرها وأن بعضها تشكل في الأعماق تحت سطح الأرض. في حين تشكل بعضها الآخر بالقرب من هذا السطح.

نظرة إجمالية/ اندفاعات بركانية عملاقة

- قلبت تحاليل حديثة لتركيب بلورات صغيرة، موجودة ضمن رواسب الرماد البركاني الناتجة من اندفاعات بركانية ما قبل تاريخية، معتقدات قديمة حول سلوك البراكين العملاقة - وكشفت عن مفاجات جديدة حول الآثار التي تتركها الكوارث.
- إن المجريات الداخلية في حجرات الصهارة التي تفجر البراكين العملاقة يمكن أن تتطور بطرائق تؤثر بقوة في أسلوب الاندفاعات البركانية في المستقبل.
- إن فترة الشتاء البركاني volcanic winter الذي يسيطر على الكرة الأرضية عند ثوران بركان عملاق، اقصر، على الأرجح، مما كان يعتقد من قبل، مع أنه يمكن أن تكون تفاعلاته الكيميائية مع الغلاف الجوي أكثر خطورة.

وخلال عشر السنوات الماضية، اهتم الجيوكيميائيون اهتماما خاصا بنمط مستقر من البلورات البركانية يدعى الزركون Zircon. ومن المعلوم أن بلورات الزركون يمكن أن تتحمل تغيرات بالغة من حيث الحرارة والضغط من دون أن يتغير تركيبها الأصلي إلى التغيير، فقد استخدمها بعض الباحثين - ومن بينهم J.W. «فالي» (من جامعة ويسكونسين في ماديسون) لدراسة التطور المبكر للقشرة الأرضية (انظر: «هل كانت الأرض باردة في بداية تكوينها؟»، العدد 12 (2005)، ص 20). وعندما انضمت إلى فريق «فالي» كزميل فيما بعد الدكتوراه في عام 1998، استخدمنا عينات بلورات الزركون المأخوذة من موقع «يلوستون» لاقتفاء أثر تاريخ صهارتها الأصلية التي تشكلت فيها والتي كشفت بدورها عن أدلة مهمة على السلوك الذي يمكن أن يسلكه البركان في المستقبل.

كانت الخطوة الأولى في قياس نسب النظائر المختلفة من الأكسجين في بلورات الزركون من أحدث اندفاع بركاني كبير في موقع يلوستون - الذي نتج بعد انفجاره، قبل 640 000 سنة، ترسب تشكيلة طف لاقا كريك - وهي عبارة عن رواسب أحفورية من الرماد البركاني المتصلب تصل ثخانتها في بعض الأماكن إلى 400م - إضافة إلى ترسب رواسب أحدث كانت قد قذفت خلال اندفاعات أقل شدة منذ ذلك الزمن. وعندما أنهيت تحاليلي الأولية كنت مندهشا مع «فالي» من استنتاج أن تركيب الأكسجين في تلك البلورات من الزركون لا يماثله في بلورات زركون وشاح الأرض العميق الحار، كما كان متوقعا فيما لو أن حجرات الصهارة المفرغة كانت تملا دائما من الأسفل. يكون لبلورات الزركون المتشكلة في الصهارات التي يكون أصلها من الوشاح بصمة متميزة. إن عندما تتجمع العناصر المنصهرة في الصهارات لتشكيل بلورات الزركون، فإن هذه البلورات تأخذ نسبة مرتفعة واضحة من

Fingerprinting Eruptions

Overview: Mighty Eruptions

١٠ لابة تعريب lava، ويقال أيضا حمم

١١ Lava Creek tuff، والطف - رماد بركاني متصلب

(التحرير)

دورات فائقة

تتشكل الحجلات العملاقة من الصهارة magma تغذي البراكين العملاقة فوق البقع الحارة spots (أعمدة في أعماق الأرض تصعد عبرها الصهارة)



ينتج من الانصهار المزمي لصخور وشاح الأرض الواسع فوق الصفائح المتحركة من قشرة المحيطات الصهارة (الماغما) التي تتدفق صاعدة نحو الأعلى باتجاه قاعدة قشرة القارات وتتجمع هناك تقوم حجرة الصهارة السفلى بعمل حراق سون صمغ يصهر في آخر الأمر جزءاً من قشرة القارات التي يكون لصخورها نقطة انصهار أخفض من الصخور الموجودة تحتها تصعد بعض الصهارة أيضاً عن طريق أعمدة ناقولية عبر الصخور.

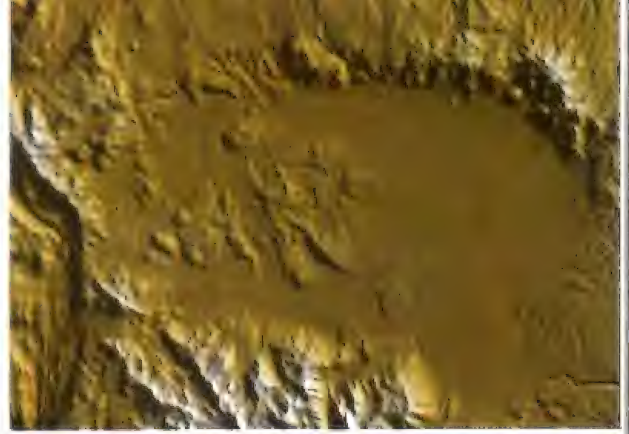
الفتاتية النارية، عواقد أخطر إلى أبعد الحدود فقد يسقط هذا الرماد البركاني ذو اللون الرمادي الباهت كما يندف الثلج، ربما لمدة أيام أو أسابيع، على مناطق تبعد مئات الكيلومترات عن مكان الاندفاع البركاني وضمن مسافة 200 كم من الكلدرا قد يختفي معظم ضوء الشمس، وهكذا قد تبدو السماء عند الظهيرة مثلما تبدو عند هبوط الليل وقد تدفّر، وأحياناً تسحق، المنازل والناس والحيوانات وحتى على بعد 300 كم، يمكن أن تصل ضخامة طبقة الرماد البركاني المترسب نصف متر، وإذا اختلط هذا الرماد مع المطر سيكون وزنه كافياً جداً لانهيار سقفوف المنازل وقد تعطل كمية أقل من هذا الرماد التيار الكهربائي ومحطات البث الإذاعي، وبخضانة طبقة قدرها مليمتراً واحداً من الرماد البركاني التي يمكن أن تغطي سطح نصف محيط الكرة الأرضية، قد

SUPERCYCLES

السطح يعتقد الجيولوجيون حالياً، اعتماداً على ما ذكر وعلى تجارب أخرى وملاحظات ميدانية خلال التسعينات من القرن الماضي، أن تشكيلة «طف بيشوب» - ومن المحتمل أن معظم الرواسب المركابية الأخرى المنبثقة من الانفجاعات الكبيرة - كانت قد قذفت في انفجار واحد دام ما بين 10 و100 ساعة.

كان على الباحثين، بعد هذا الاكتشاف، أن يعدلوا فكرتهم المتعلقة بإعادة تكوين اندفاعات البركان العملاق (السوبر بركان): وهذا ما يتوقعونه بصورة عامة حالياً من حدث بحجم الأحداث التي ضربت موقعي «لونك فالي» و«بلوستون» عوضاً عن انسكاب بطي، للاية حارة متوهجة كما ترى وهي تسيل الآن على جوانب البركان Kilauea في جزيرة هاواي، تكشف هذه الانفجاعات عن انفجارات فوق صوتية من مزيج رغوي القوام ذي حرارة عالية جداً

مؤلف من الغازات والرماد البركاني يرتفع في الجو إلى طبقة الاستراتوسفير stratosphere، إلى ارتفاع 50 كم وبسبب انهيار الأراضي فوق حجرة الصهارة تنفجر سحب رمادية كثيفة مؤلفة من صخور فتاتية نارية Pyroclastic، وتتدفق بصورة أفقية على كامل محيط الكلدرا وتشكل هذه التدفقات مظهرًا متوسطاً بين الالة والرماد المركابي، ولذلك فإنها تتحرك بسرعة كبيرة جداً تصل إلى 400 كم بالساعة، بحيث لا تتمكن السيارات والطائرات الصغيرة، بحسب بعض المصادر، أن تنحو منها وإضافة إلى ذلك تكون هذه التدفقات حارة جداً - من 600 إلى 700 درجة مئوية - فهي تؤدي إلى حرق ودفن كل شيء في طريقها الذي يمتد إلى عشرات الكيلومترات في جميع الاتجاهات. يمكن أن يكون للرماد البركاني المنذفع نحو الغلاف الجوي، الذي يكون مؤذياً مثل الأذى الذي تسببه تدفقات الصخور



لد تكت البراكين العملاقة الخاملة في موقع لونك فالي بولاية كاليفورنيا (الشكل العلوي) على شكل قمم واضحة مخروطية الشكل مثل ما هي عليه في ساونت سانت هيلينز بولاية واشنطن (الشكل السفلي)، وإنما تسمى، عوضاً عن ذلك، نفوئات بركانية عملاقة (كلديرات)، وهي منخفضات في سطح الأرض تشكلت عندما انهارت الأرض نحو حجلات الصهارة التي غدت معظم الانفجاعات البركانية الكبيرة الحديثة.

اندفاعات بركانية متميزة قد حدثت على مر ملايين السنين لإنتاج تشكيلة «طف بيشوب» الواسعة الانتشار، ولكن الدراسات الدقيقة لقطيرات ميكروية من الصهارة المحتجزة ضمن بلورات صغيرة من الكوارتز كشفت عن تفسير مختلف يعتمد معدل السرعة التي تترك فيها الصهارة حجلات بصورة رئيسية على عاملين اثنين، لزوجة الصهارة (أي قدرتها على الجريان) وفرق الضغط بين حجرة الصهارة وسطح الأرض ولأن الضغط داخل قطيرة الصهارة يماثل ضغط الحجرة التي تشكلت فيها الصهارة، فإن قطيرة الصهارة ثمائل تسخه مصغرة عن حجرة الصهارة نفسها

وبإدراك هذا التماثل درس «A. أندرسون» [من جامعة شيكاغو] مع زملائه حجم قطيرات الصهارة تحت المجهر لتقدير المدة التي تستغرقها الصهارة لتتسكب على

من قبل. وفيما يلي أشكال للخطوات الأساسية الأربع. بدءاً من التشكيل الأولي لحجرة الصهارة، يتمثل في كل منها نطاق الانغراز

(سورة) أو فوق نطاق الانغراز (وهي النطق حيث تغرز صلبة تكتونية تحت صفيحة أخرى) ففي كلتا الحالتين، تتجه البراكين مسجلة إلى اتباع دورة اندفاعية التي هي أفضل فهمها حالياً مما كانت عليه



4 بعد اندفاع البركان، يستقر فوق حجرة الصهارة - المنزوعة جزئياً من محتوياتها - منخفض يشبه فوهة البركان يعرف بالكلديرا caldera أو فوهة البركان الضخمة. إن الأراضي المنهاره في داخل حجرة الصهارة تبدأ مع مرور الزمن بالانصهار، وبذلك تتشكل كتلة أصغر من الصهارة، التي تتشكل مع قوى أخرى فوهة في مركز الكلديرا. يمكن أن تتسبب من هذه المنطقة لابة (حمم بركانية) بطيئة الحركة مرات متعددة قبل أن تتجمع الصهارة بصورة كافية لتحفيز اندفاع ضخم جديد.

3 يتحطم، في آخر الأمر، سطح الأرض المهيكل عندما تتشكل معاصر انفجارية جديدة حلقة قطرها بقطر حجرة الصهارة. تنهار القطع المتشكلة من الصخور نحو حجرة الصهارة مجبرة كميات إضافية من الصهارة على الصعود إلى الحافات الخارجية للحلقة. إن انطلاق هذه الصهارة المفاجئ يحولها إلى سحب حارقة واسعة الانتشار من الصخور والرماد البركاني والغاز تعرف بالتدفق الفتاتي الناري flow pyroclastic الذي يخرب مساحة تمتد لعشرات الكيلومترات في جميع الاتجاهات.

2 بقدر ما يزداد حجم حجرة الصهارة العليا بقدر ما تنفتح الأرض التي فوقها وتتسحق. إن تركيب هذه الصهارة الغني بالسيليكا ودرجة حرارتها المنخفضة تحوّلها إلى تركيب وحاررة وشاح الأرض، يصعبها تقاوم جريان بصورة خاصة، وهكذا يصبح مرور الماء الغازات عبرها صعباً. ونتيجة لذلك، عندما نشق سداة الصهارة للزجة طريقها فجأة إلى السطح على طول شقوق شاقولي، تمل المواد التي تحتها بضغطها المرتفع الانفجار بعنف أكثر من أن تتدفق ببطء.

(الهدرولوجية) على الكرة الأرضية تأخذ أشهر أو سنين لتغسل وتزيل القطيرات الحامضية بصورة كاملة والكثير من الباحثين يقدر تقديرات غامضة أن فصول شتاء بركانية volcanic winters قد تدوم عشرات السنوات إذا لم تدم مئات السنين ولكن في السنوات الأخيرة كشف باحثون آخرون عن دليل يخفّض كثيراً هذه المدة.

يحتجز معظم آثار حمض الكبريت تقريباً الناتج بعد الانفجاعات البركانية الكبيرة في الثلج والجليد كلما انفصل هذا الحمض عن الغلاف الجوي الملوث. فقد وجد الباحثون في عام 1996، الذين يدرسون ليايات الجليد المأخوذة من كرينلند وقارة القطب الجنوبي (قارة أنتاركتيكا)، أن كمية حمض الكبريت القصوى حصلت بعد الانفجاعات البركانية الكبير في موقع «طوبا» قبل 74 (000) سنة. فقد قذف هذا الانفجاع 2800 كم³ من اللابة والرماد البركاني وأدى إلى خفض متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية بين 5 و 15

أن عواقب أخرى قد تنشأ عن انطلاق أحجام كبيرة من غاز، بقي تركيبه غير معروف تماماً، نحو الغلاف الجوي الأعلى للأرض. وإمكانية استمرار انطلاقه لسنوات متعددة وتشير الأبحاث الجديدة إلى أن بعض هذه النتائج قد لا تكون مؤقتة مثل ما كان يُحصى من قبل. ولكن يمكن لبعضها الآخر أن يكون أكثر أذى وهذا ما توضّح مرة ثانية حالما تمت دراسة تركيب النواتج الثانوية الصغيرة من الانفجاعات البركانية الماضية.

من الغازات المتنوعة التي تولّف أي اندفاع بركاني، يسبّب ثنائي أكسيد الكبريت (SO₂) التأثير الأقوى في البيئة؛ فهو يتفاعل مع الأكسجين والماء لإنتاج قطرات دقيقة من حمض الكبريت (H₂SO₄) وتشكّل هذه القطيرات المصدر الرئيسي الذي يحجب الشمس ويؤدّي إلى التبرّد المناخي المفاجئ الذي قد يسيطر على الكرة الأرضية بعد الانفجاعات البركانية الكبيرة ومن المعروف أن الدورة المائية

تؤدّي إلى إغلاق المطارات وإنقاص الإنتاج الزراعي على نحو خطير.

وتدريجياً فقط يمكن أن تغسل الأمطار (التي أصبحت حامضية بالغازات البركانية) الغطاء التخزين من الرماد البركاني وتجرفه، ويسبب عوم الصخور البركانية والرماد البركاني قد تُسد الممرات المائية الرئيسية. ويمكن أن ينتهي النقل النهري عبر الممرات المائية إلى التوقف. وبالفعل فقد اخترق حفر بئر نقطية في خليج المكسيك طبقة ضخمة بصورة غير متوقعة من حطام صخري بالقرب من دلتا نهر المسيسيبي نتج من انفجاعات لبراكين عملاقة - وهي تمتد على مسافة تزيد على 1000 ميل في موقع بلوستون. فقد أمكن تراكم هذه الكمية من الحطام الصخري البركاني الناجمة عن بركان بعيد جداً بعد عومها وانتقالها نحو مصب البحر. ومن ثم النصاقها بالرواسب التي في قاع المحيط. لقد كان لدى الباحثين أسسهم للاعتقاد



يتشكل الجدار الصلب في غرب نبراسكا المؤلف من صخر رمادي اللون من تراكم رماد بركاني خائق تخلف عن اندفاع كبير من موقع غير معروف قبل نحو 28 مليون سنة. نذل عناصر في الرماد البركاني على أن مثل هذه الانفجاعات الكبيرة يمكن أن تغير كيميائية طبقة الاستراتوسفير (stratosphere)



تشكل الرواسب البركانية الواسعة الانتشار منحدرا شديدا الانحدار في الجبل Yucca Mountain بنيفادا. وهي بقايا تدفقات من الرماد البركاني الحارق الناتج من الانفجاعات العملاقة التي انطلقت في الجوار قبل نحو 12.8 مليون سنة (الطبقة السفلى) وقبل نحو 12.7 مليون سنة (الطبقة العليا).

الحامية في الأبحاث الحالية وهكذا عندما بدأت العمل مع «MI» ايلر» [في هيئة الباحثين بمعهد كاليفورنيا للتقانة] في عام 2003، بحثنا عن دليل في العينات التي أخذتها من طبقات الرماد البركاني الناتجة من الانفجاعات البركانية القديمة في موقعي «يلوستون» و «لونگ فاللي»

بدانا بتحليل عيناتنا بالتركيز بصورة خاصة على مؤكسد فعال هو الأوزون. غاز مؤلف من ثلاث ذرات من الأكسجين أكثر ما يُعرف عنه أنه يقي الكرة الأرضية من أشعة الشمس فوق البنفسجية الخطرة وبسبب التحوّلات الكيميائية النادرة التي تتعرض لها بعض الغسارات بوجود ذلك الإشعاع الشمسي الشديد، يتميز غاز الأوزون بشدود فيما يسمى بصمة أكسجين نظيره ^{17}O ، المستقلة عن كتلته، التي، بمعنى آخر، يمكن أن تعتبر زيادة من الأكسجين 17

عندما يتفاعل الأوزون أو أي جزيء آخر غني بالأكسجين في طبقة الاستراتوسفير من الغلاف الجوي، مع الغاز SO_2 ، ينقل بصمة نظير أكسجينه 17 إلى الحمض الناتج - وهذا يعني أن شذوذ الأكسجين 17 يستمر في الحمض الجديد لقد وجد الجيوكيميائيون في عام 2003 الذين يعملون في جامعة كاليفورنيا بسان دينغو، الدليل المذكور انقفا، ما يدل على طبقة في غلاف الأرض الحوي تمتد من 11 كم حتى 50 كم فوق سطح الأرض (التحرير)

تركيب ذرات الأكسجين في الأمطار الحمضية البركانية كشفت عن وجود إشارة منذرة بالخطر مختلفة تماما حول التأثيرات المديدة لثنائي أكسيد الكبريت في الغلاف الجوي، ولكي يتحول الغاز SO_2 إلى الحمض H_2SO_4 لا بد أن يتأكسد - ويتعبير آخر ينبغي أن يكتسب ذرتين من الأكسجين من مركبات أخرى موجودة بالفعل في الغلاف الجوي فالمركبات التي تؤدي بالفعل الدور الأساسي في موضوع لا يزال قيد المناقشة

درجة مئوية ومن دون شك، كانت نتائج هذه البرودة خطيرة، غير أنها لم تدم مدة طويلة كما كان يُعتقد من قبل. لقد اختفى حمض الكبريت من لبابات الجليد بعد ست سنوات؛ أو بعد مدة أقل من ذلك بحسب بعض الباحثين الآخرين

إن احتمال كون مدة «فصول الشتاء البركانية» أقصر مما كان يعتقد هي أخبار سارة. ولكن طريقة جديدة جرى تطويرها خلال السنوات الخمس الأخيرة لدراسة



تكتشف حاليا هيكل الحيوانات التي كانت مدفونة في التشكيلة Ashfall Fossil Beds (طبقات أحافير الرماد البركاني)، المنشكلة نتيجة اندفاع كارثي في ولاية إيداهو قبل 12 مليون سنة، في المتزة State Historical park بولاية نبراسكا. ومن المحتمل أن تكون معظم الحيوانات قد ماتت ببطء عندما ملأ الرماد البركاني (الذي يتألف بصورة أساسية من دقيق زجاجي) رئاتها وسحق أسنانها؛ ويمكن أن تكون المواد الكيميائية في الرماد البركاني قد سممت أيضا مياه شربها.

تسببه هذه الأشعة، ومع ذلك فإن حجم ومدة تدمير طبقة الأوزون المحتمل مازالا خاضعين للنقاش. ومع ذلك فقد كشفت الملاحظات الفضائية أن استنفادا في طبقة الأوزون يراوح ما بين 3 و 8 في المئة، حصل بعد اندفاع بركان ماونت بيناتوبو عام 1991 في الفلبين ولكن ماذا قد يحصل بعد حدث أضخم بمئة مرة؟ إن مجرد حساب بسيط لن يؤدي إلى حل هذه المشكلة، بسبب تعقيد تفصيلات تفاعلات الأكسدة في الغلاف الجوي وعدم فهمها تماما

ويُجرى حاليا تطوير تقنيات علمية لدراسة ومراقبة البراكين من جميع الحجوم بسرعة متناهية ويصرف النظر عن مقدار ما نتعلمه، لا يمكننا أن نمنع حدوث أي اندفاع بركاني. وما يمكن أن يقال حول آثار معظم الأحداث الكارثية يبقى غير نهائي في أحسن الأحوال. ومع ذلك فإن الأخبار السارة هي أن الباحثين يعرفون حاليا بصورة كافية مواقع الاندفاعات البركانية المحتملة كي يتنبؤوا بتأكيدات معقولة أنه لن تحصل مثل هذه الكوارث في القريب العاجل ■

(١) OZONE DESTRUCTION (٢)

(٣) أو القمر الصناعي



الواقعية متوقعا ليفضي إلى كمية متزايدة من الإشعاع فوق البنفسجي الخطر الذي يصل إلى سطح الكرة الأرضية، ومن ثم إلى زيادة الضرر الجيني genetic الذي

أن هذه البصمة تكون محفوظة أيضا في ذرات أكسجين الحمض الذي يسقط فيما بعد كأمتار وفي مركبات الكبريتات التي تتشكل عندما تتفاعل الأمطار الحمضية مع الرماد البركاني على الأرض

وتدل زيادة الأكسجين 17 والمركبات الكيميائية الأخرى التي وجدناها في كبريتات عينات الرماد البركاني المأخوذة من موقعي «يلوستون» و «لونك هالي» على أن كميات كبيرة من أوزون طبقة الاستراتوسفير استخدمت في التفاعلات مع غازات الانفجاعات البركانية الكبيرة التي انطلقت من الموقعين المذكورين. وبين باحثون آخرون يدرسون طبقات الحمض في لبابات الجليد من مناطق قارة القطب الجنوبي أن تلك الأحداث أدت أيضا على الأرجح إلى تآكل أوزون الاستراتوسفير، وهذا يجعلنا نفكر كما لو أن انبعاثات البراكين العملاقة تستغرق مدة أطول لتآكل ثقب طبقة الأوزون مما تستغرق لتبريد المناخ قد يكون هذا النقص في طبقة الأوزون

المؤلف

Ilya N. Bindeman

جيوكيميائي ومساعد استاذ في قسم العلوم الجيولوجية بجامعة أوريغون ولد في موسكو واهتم في البداية بعلم البراكين عندما درس البراكين البعيدة في كامشاتكا في أقصى شرق روسيا وبعد أن حصل على الدكتوراه من جامعة شيكاغو في عام 1998 بدأ بصورة عملية بفحص البلورات الميكروسكوبية الموجودة في الرماد البركاني بغية إيجاد أدلة تدل على منشأ الانفجاعات البركانية الكبيرة في العالم وتأثيراتها. عمل في جامعة ويسكونسين-ماديسون وفي معهد كاليفورنيا للثقافة قبل أن ينضم إلى كلية أوريغون في الشهر 12 من عام 2004 ويقع مختبره الخاص في الجيوكيمياء

مراجع للاستزادة

Low- $\delta^{18}\text{O}$ Rhyolites from Yellowstone: Magmatic Evolution Based on Analyses of Zircons and Individual Phenocrysts. Ilya N. Bindeman and John W. Valley in *Journal of Petrology*, Vol. 42, pages 1491-1517; 2001.

Sulfate Oxygen-17 Anomaly in an Oligocene Ash Bed in Mid-North America: Was It the Dry Fogs? Bao Huiming, Mark H. Thieme, David B. Loope and Xun-Lai Yuan in *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, pages 1843-1848; 2003.

Rare Sulfur and Triple-Oxygen Isotope Geochemistry of Volcanogenic Sulfate Aerosols. Ilya N. Bindeman, John M. Eiler, Boswell Wing and James Farquhar in *Earth and Planetary Science Letters* [in preparation, 2006]

Scientific American, June 2006

البحث من أجل صنع عدسة فائقة⁽¹⁾

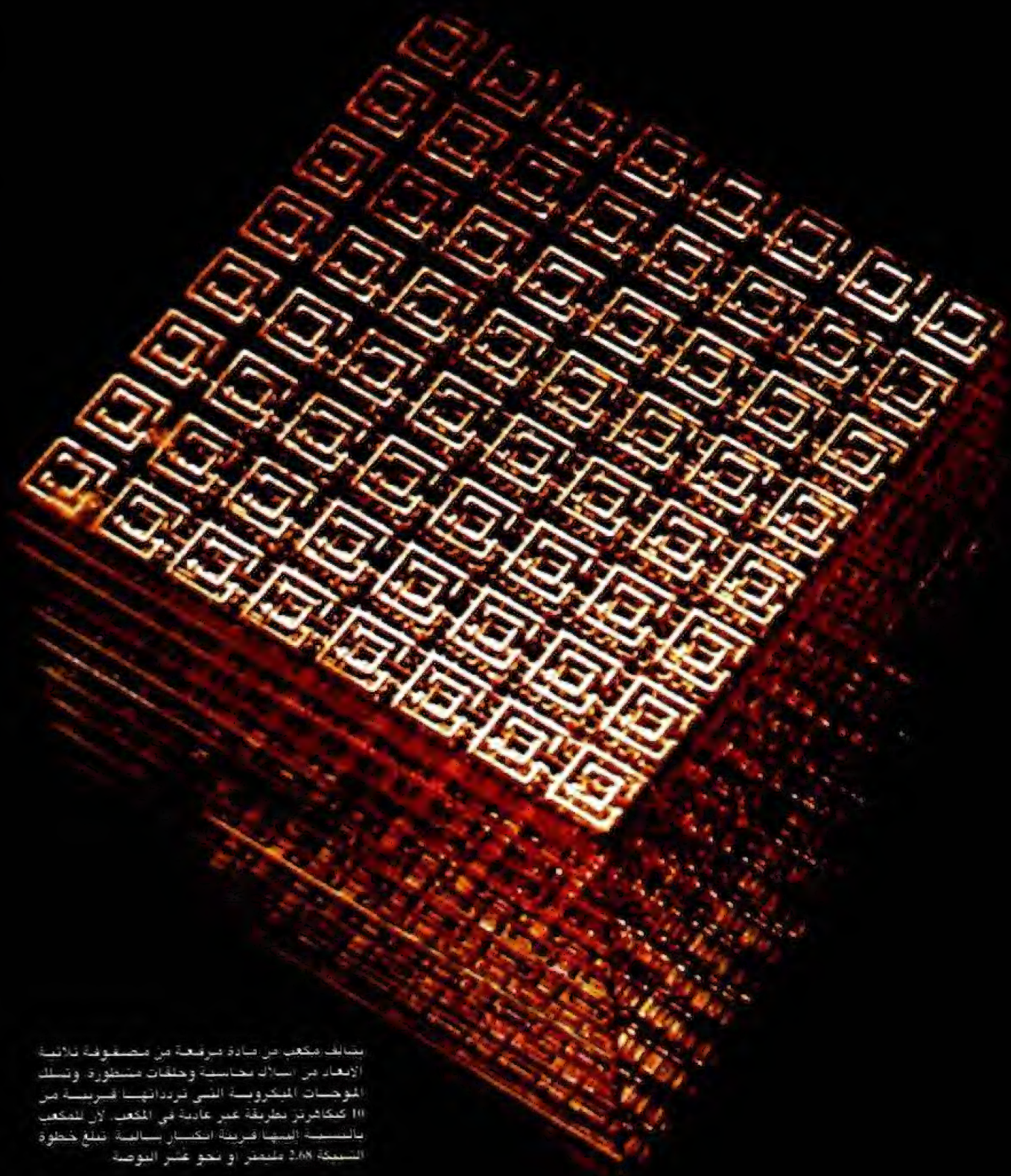
سوف يكون بإمكان عدسة فائقة مصنوعة من «مواد مرفّعة» ذات خواص مثيرة للجدل أن تشكل أخيلة تتضمن تفاصيل أدق من الطول الموجي للضوء المستخدم.

<B. J. بندري> - <R. D. سميث>

قبل نحو 40 عاما كانت لدى العالم الروسي <V. فيسيلاكو> فكرة حول مادة ربما استطاعت قلب عالم البصريات رأسا على عقب، فهي قد تستطيع جعل موجات الضوء تبدو أنها تجري إلى الخلف وأنها تسلك سلوكا آخر بطرق عديدة معاكسة للحدس. وسوف يكون لنوع جديد كليا من العدسات مصنوع من هذه المادة صفات شبه سحرية تجعلها تتفوق على أية عدسات معروفة سابقا. والفكرة هنا هي أنه ينبغي أن يكون للمادة قرينة انكسار index of refraction سالبة (يصف «الانكسار» مقدار تغير اتجاه الموجة لدى دخولها أو خروجها من المادة). إن لجميع المواد المعروفة قرينة انكسار موجبة. وقد فشل <فيسيلاكو>، بعد سنين من البحث، في إيجاد أي شيء له الخواص الكهرمغناطيسية التي كان ينشدها، وتلاشى بذلك حلمه غارقا في الظلمة. وقد أحيأ مؤخرا تقدم هائل مفهوم <فيسيلاكو>، فالخواص الكهرمغناطيسية لمعظم المواد تنشأ مباشرة عن مميزات الذرات والجزيئات التي تكوّن هذه المواد. ولما كان لهذه المكونات مجال محدود من المميزات فإن ملايين المواد التي نعرفها لا تبدي إلا مدى محدودا فقط من الخواص الكهرمغناطيسية. ولكن في منتصف التسعينات أدرك أحدنا (بندري)، بالتعاون مع علماء الشركة ماركوني لتقانة المواد Marconi Materials Technology في إنكلترا، أنه ليس من الضروري أن تكون «مادة» ما شريحة slab من مكوّن واحد، وإنما يمكن أن تكتسب خواصها الكهرمغناطيسية من بني دقيقة تكوّن مجتمعة تأثيرات تكون مستحيلة لولا ذلك.

بدأ فريق الشركة ماركوني يصنع ما يسمى المواد المرفّعة metamaterials وبيّن أن عددا منها يبعثر الموجات الكهرمغناطيسية بصورة مخالفة لأي مواد معروفة. وفي عام 2000 وجد واحد منا (سميث) مع زملائه [من جامعة كاليفورنيا في سان دييغو] تركيبة من المواد المرفّعة توافر خاصة الانكسار السالب المراوغة.

يسلك الضوء في المواد ذات قرينة الانكسار السالبة سلوكا شديد الغرابة، لدرجة أنه كان لزاما على النظريين أن يغيروا تماما العديد من مفاهيم الكهرمغناطيسية. وقد تضمنت هذه العملية بعض المناظرات الحارة التي تطرح السؤال حول وجود مثل هذه المواد أصلا. وفي الوقت نفسه يعمل التجريبيون على تطوير تقانات تستخدم الخواص الغريبة للمواد المرفّعة: عدسة فائقة، على سبيل المثال، تتيح تصوير تفاصيل أدق من طول موجة الضوء المستخدم، وهذه يمكن أن تمكن الطباعة الحجرية الضوئية optical lithography للدوائر الإلكترونية الميكروية من الوصول إلى المقياس النانوي ومن تخزين مقدار أكبر كثيرا من البيانات على الأقراص الضوئية. ويبقى هناك الكثير مما ينبغي عمله لتحويل هذه التصورات إلى حقيقة، أما الآن وقد تحقق حلم <فيسيلاكو> بصورة نهائية فإن التقدم أصبح سريعا.



يتألف المكعب من مادة مربعة من مصفوفة ثنائية الأبعاد من السلك نحاسية وحلقات منطوقة. وتسلط الموجات الميكروية التي تردداتها قريبة من 10 كيكاهرتز بطريقة غير عادية في المكعب. لأن المكعب بالنسبة إليها قريبة انكسار عالية تبلغ خطوة الشبكة 2.68 مليمتر أو نحو عشر البوصة.

الانكسار السالب^(١)

لا بد لكي يفهم المرء كيف يمكن أن ينشأ الانكسار السالب من أن يعرف كيف تؤثر المواد في الموجات الكهرمغناطيسية. حين تسير موجة كهرمغناطيسية (مثل شعاع من الضوء) عبر مادة ما، تتأثر الإلكترونات الموجودة ضمن ذرات أو جزيئات هذه المادة بقوة فتتحرك تبعاً لذلك وتستهلك هذه الحركة بعضاً من طاقة الموجة، وهذا يؤثر في خواص الموجة وفي طريقة انتشارها ويستطيع العلماء، بواسطة تعديل تركيب المادة الكيميائي، ضبط مميزات انتشارها من أجل تطبيق معين ضبطاً دقيقاً.

ولكن كما تبين المواد المرفقة، ليست الكيمياء الطريق الوحيد لتطوير مواد ذات استجابة كهرمغناطيسية مشوّقة؛ إذ يمكن كذلك تصميم استجابة كهرمغناطيسية بواسطة تكوين بنى دقيقة إنما مأكروية (جهرية). وينشأ هذا الإمكان لأن الطول الموجي لموجة كهرمغناطيسية عادية - وهي المسافة المميزة التي تتغير فيها الموجة - يفوق بعدة مراتب كبير الذرات أو الجزيئات التي تتشكل منها المادة فالموجة لا «تري» جزيئاً مفرداً وإنما ترى الاستجابة الجماعية للملايين الجزيئات وفي مادة مرفعة تكون عناصرها المكوّنة أصغر كثيراً من الطول الموجي ولذلك لا ترى الموجة الكهرمغناطيسية هذه العناصر مفرداً

تحوي الموجات الكهرمغناطيسية، كما تدل تسميتها، على كلا الحقلين: الكهربائي والمغناطيسي وكل حقل يحرض حركة مميزة للإلكترونات في المادة - ذهاباً وإياباً استجابة للحقل الكهربائي، وبصورة دائرية استجابة للحقل المغناطيسي وهناك وسيطان parameters يحددان مدى هاتين الاستجابتين

نظرة إجمالية/ المواد المرفقة^(٢)

في مادة ما: السماحية الكهربائية (E) electrical permittivity أو مقدار استجابة الإلكترونات للحقل الكهربائي، والنفاذية (μ) المغناطيسية magnetic permeability، أي درجة استجابة الإلكترونات للحقل المغناطيسي. ولأغلب المواد وسيطان E و μ موجبان والمؤشر المهم الآخر للاستجابة الضوئية للمادة هو قرينة انكسارها (n). وترتبط قرينة الانكسار ببساطة بكل من الوسيطين E و μ $n = \pm \sqrt{\epsilon\mu}$ وينبغي اختيار القيمة الموجبة للجذر التربيعي من أجل جميع المواد المعروفة؛ ولذلك فقرينة الانكسار موجبة. ولكن «فيسيلاكو» بيّن في عام 1968 أنه إذا كانت قيمة كل من الوسيطين E و μ سالبة وجب أن تأخذ قرينة الانكسار n الإشارة السالبة نفسها ولذلك فإن مادة ذات وسيطين E و μ سالبين القيمة هي مادة ذات قرينة انكسار سالبة

وتقتضي القيمة السالبة لأي من الوسيطين E أو μ أن تتحرك الإلكترونات الموجودة في المادة بعكس اتجاه القوة المطبقة عليها من قبل الحقلين الكهربائي والمغناطيسي. ومع أن هذا السلوك يمكن أن يبدو مغارقة، فمن البساطة بمكان أن تجعل الإلكترونات تعاكس «دفع» الحقلين الكهربائي والمغناطيسي المطبقين عليها

تخيل أرجوحة: طبق دفعا بطنيا ثابتا، فتتحرك الأرجوحة طواعية باتجاه الدفع - مع أنها لا تتأرجح عالياً جداً. ولكن بمجرد أن تبدأ الحركة، تنزع الأرجوحة للتأرجح ذهاباً وإياباً بمعدل معين يُعرف تقنياً بالتردد التجاوبي resonant frequency الخاص بها. قم بدفع الأرجوحة بصورة دورية متزامنة مع هذا التأرجح فتبدأ ترتفع للأعلى أكثر فأكثر. والآن حاول أن تدفع الأرجوحة بمعدل أسرع فيصبح هذا الدفع غير متفق في الطور مع

حركة الأرجوحة - وعند نقطة معينة قد تكون ذراعاك ممدودتين فيما الأرجوحة متدفعة باتجاهك. وإذا كنت تابعت الدفع لفترة، ربما أصبح للأرجوحة اندفاع كاف لدفعك ورميك - فهي عندئذ تدفعك إلى الخلف وبالطريقة نفسها تخرج الإلكترونات في مادة ذات قرينة انكسار سالبة عن التوافق في الطور وتقاوم «دفع» الحقل الكهرمغناطيسي

المواد المرفقة^(٣)

التجاوب resonance، أي النزعة للاهتزاز بتردد معين، هو المفتاح للوصول إلى هذا النوع من الاستجابة السالبة وهو يدخل صنعياً في مادة مرفعة بواسطة بناء دوائر صغيرة مصممة لتقلد الاستجابة المغناطيسية أو الكهربائية لمادة ما. ففي مجاوب ذي حلقات مشطورة split-ring resonator (SSR) على سبيل المثال يحرض التدفق المغناطيسي الذي يخترق الحلقات المعدنية تيارات تدور في الحلقات، مشابهة للمغناطيسية في المواد [انظر الإطار في الصفحة 64] وبالمقابل يحرض الحقل الكهربائي في شبكة أسلاك معدنية مستقيمة تيارات تجري ذهاباً وإياباً

إذا تُركت الإلكترونات في هذه الدوائر وشأنها تأرجحت بصورة طبيعية إلى الأمام والخلف وفق التردد التجاوبي الذي تحدده بنية الدارة وأبعادها طبق حقلاً تردده تحت هذا التردد فتنتج استجابة موجبة عادية. أما فوق تردد التجاوب مباشرة فتكون الاستجابة سالبة - تماماً كما دفعت الأرجوحة إلى الخلف عندما صارت تُدفع بأسرع من ترددها فيمكن للأسلاك إذا توفير استجابة كهربائية سالبة مع وسيط E سالب فوق مجال معين من الترددات. في حين تستطيع الحلقات المشطورة توفير استجابة مغناطيسية مع وسيط μ سالب فوق النطاق الترددي ذاته ليست هذه الأسلاك والحلقات المشطورة سوى عناصر بناء لازمة لصنع تشكيلة واسعة من مواد مرفعة مشوّقة. بما في ذلك مادة «فيسيلاكو» التي طال البحث عنها

أنى الدليل التجريبي الأول على إمكان الحصول على مادة ذات قرينة انكسار سالبة من التجارب التي قامت بها مجموعة جامعة كاليفورنيا في عام 2000. وقد استخدمت

- يمكن أن تكون مواد مصنوعة من بنى مجهرية مصممة بعناية خواص كهرمغناطيسية لا تشبه أياً من المواد الموجودة في الطبيعة. وبصورة خاصة يمكن أن يكون لهذه المواد المرفقة قرينة انكسار سالبة، وهذا يعني أنها تكسر الضوء بطريقة جديدة كلياً.
- يمكن لشريحة من مادة ذات قرينة انكسار سالبة أن تعمل مثل عدسة فائقة قادرة على منافسة العدسات الحالية ذات القرينة الموجبة. وسيكون بإمكان مثل هذه العدسة الفائقة تشكيل أخيلة تحتوي على تفاصيل أدق مما يسمح به حد الانعراج الذي يحد من أداء كافة العناصر البصرية ذات القرينة الموجبة.
- مع أن أغلب التجارب على المواد المرفقة تجرى بالموجات الميكروية، فمن الممكن أن تستخدم في المستقبل الأطوال الموجية الأقصر، تحت الحمراء والمرئية.

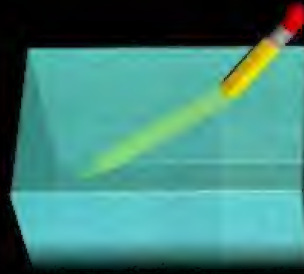
يسلك الضوء (وجميع الإشعاعات الكهرومغناطيسية الأخرى) في وسط ذي قريفة انكسار سالبة سلوكا مختلفا عنه في المواد العادية التي قريفة انكسارها موجبة في عدد من الطرق المخالفة للحدس:

وسط ذو قريفة
انكسار سالبة

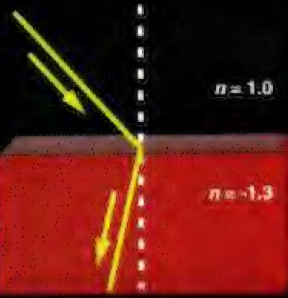


يظهر قلم الرصاص مغمور في وسط ذي قريفة انكسار سالبة ينحني كما لو أنه يخرج من الوسط

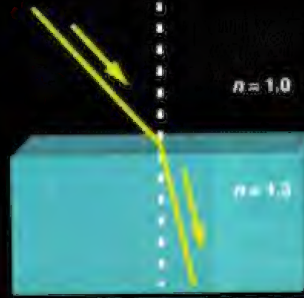
وسط ذو قريفة
انكسار موجبة



يظهر قلم الرصاص في الماء مثنيا لأن قريفة انكسار الماء أكبر



عندما يسير الضوء من وسط ذي قريفة موجبة إلى وسط ذي قريفة سالبة فإنه ينتقل إلى الخلف إلى جهة العاكس نفسها



عندما يسير الضوء من وسط ذي قريفة انكسار (n) منخفضة إلى وسط ذي قريفة انكسار أعلى فإنه ينتقل نحو العاكس (الخط المنقط العمودي على السطح)



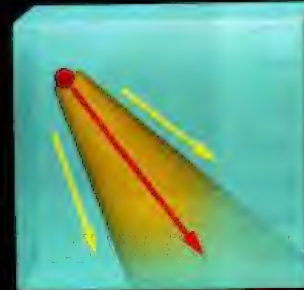
يظهر الجسم المتقهقر أكثر زرقة



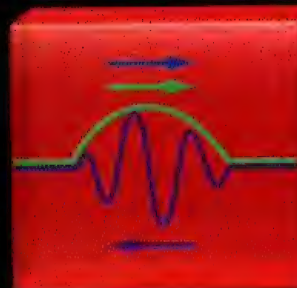
يظهر الجسم المتقهقر^(١) أكثر حمرة بسبب مفعول دوبلر



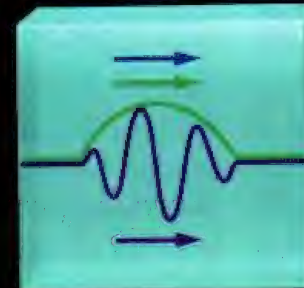
يكون اتجاه المخروط إلى الخلف



يولد جسم مشحون (الأحمر) يسير بسرعة أكبر من سرعة الضوء مخروطا من إشعاع تشيرنيكوف (الأصفر) باتجاه حركته إلى الأمام



تسير التموجات المفردة بعكس اتجاه سكة النبضة والطاقة

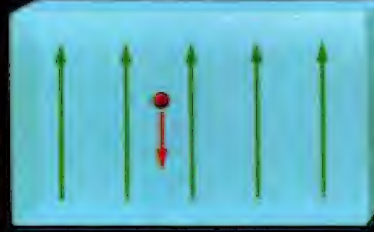


تسير التموجات المفردة لنبضة كهرومغناطيسية (البنفسجي) في وسط ذي قريفة سالبة بالاتجاه نفسه مثل شكل النبضة الإجمالي (الأخضر) والطاقة (الزرق)

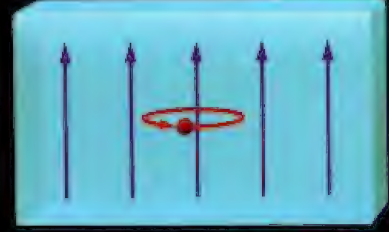
هندسة استجابة

المفتاح لإنتاج مادة مرفعة هو تكون استجابة استطاعة للحقلين الكهربائي والمغناطيسي

في مادة عادية



يولد الحقل الكهربائي (الأخضر) حركة
حطية للإلكترونات (الأحمر)



يولد الحقل المغناطيسي (البنفسجي)
حركة دائرية للإلكترونات

في مادة مرفعة



تجري التيارات الحطية (الأسهم الحمراء)
في صيغيات الأسلاك

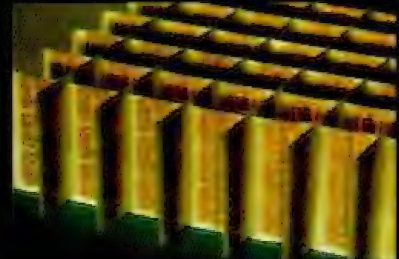


تندفع تيارات دائرية في مجاويات الحلقة
المشطورة (SRR)

بنية المادة المرفعة



يصنع المادة المرفعة من صيغيت أسلاك ومجاويات SRR تكون أصغر من طول الموجات الكهرومغناطيسية
التي سوف تستخدم مع المادة



من موشور التفلون ولكنها انكسرت انكسارا
سالبا على موشور المادة المرفعة. أصبحت
تكهنات «فيسيلاكو» حاليا حقيقة: فقد تم
التوصل أخيرا إلى مادة ذات قرينة انكسار
سالبة. أو هل تم ذلك فعلا؟

هل تعمل حقاً؟

أدت تجارب جامعة كاليفورنيا، إضافة
إلى تنبؤات جديدة رائعة كان الفيزيائيون
يقومون بها حول المواد ذات قرينة الانكسار
السالبة، إلى موجة عارمة من اهتمام
الباحثين الآخرين. لم يدقق المجتمع العلمي
في زمن فرضية «فيسيلاكو» الذي لم تكن
توجد فيه مواد مرفعة، تدقيقاً كافياً في
مفهوم الانكسار السالب. أما الآن ومع
إمكان أن تحقق المواد المرفعة الأفكار المقحة
التي تتضمنها هذه النظرية، فقد أولى
الباحثون اهتماماً أكبر بالموضوع. وبدأ
المشككون يتسألون ما إذا كانت المواد ذات
قرينة الانكسار السالبة تخرق القوانين
الأساسية للفيزياء. فإذا كانت كذلك، أصبح
برنامج البحث كله باطلاً

تركزت أعنف المناقشات حول فهمنا لسرعة
الموجة في مادة معقدة. يسير الضوء في الفراغ،
بأقصى سرعة له وهي 300 000 كيلومتر في
الثانية. ويرمز لهذه السرعة بالحرف c. أما
سرعة الضوء في مادة ما فهي أخفض بمعامل
مقداره قرينة الانكسار، أي أن السرعة
 $v = c/n$. ولكن ماذا لو كانت القرينة n سالبة؟
إن التفسير البسيط لعلاقة سرعة الضوء هو أن
الضوء ينتشر إلى الخلف

أما الجواب الأكمل فيأخذ بالاعتبار أن
للموجة سرعتين، تدعيان سرعة الطور
وسرعة المجموعة. ولفهم هاتين السرعتين
لنتخيل نبضة ضوئية تسير عبر وسط ما. إن
للنبضة شكلاً مشابهاً لذلك المبين في الرسم
الأخير في إطار الصفحة 63. تتزايد تموجات
الموجة إلى حدها الأقصى في مركز النبضة.
ثم تعود فتتناقص بعده حتى تتلاشى.
وسرعة الطور هي سرعة التموجات المفردة.
أما سرعة الموجة فهي السرعة التي يتقدم
بها شكل النبضة. وهاتان السرعتان ليستا
بالضرورة متساويتين

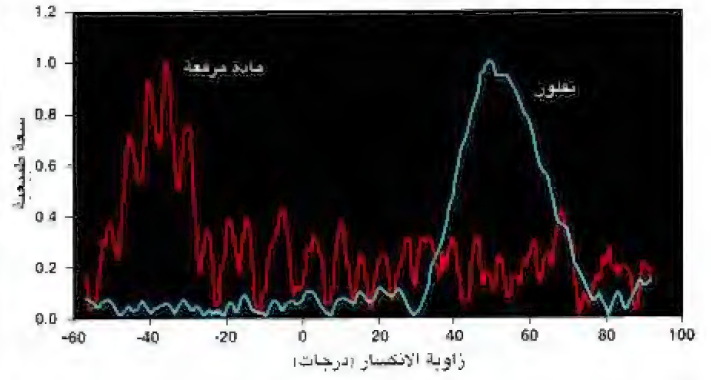
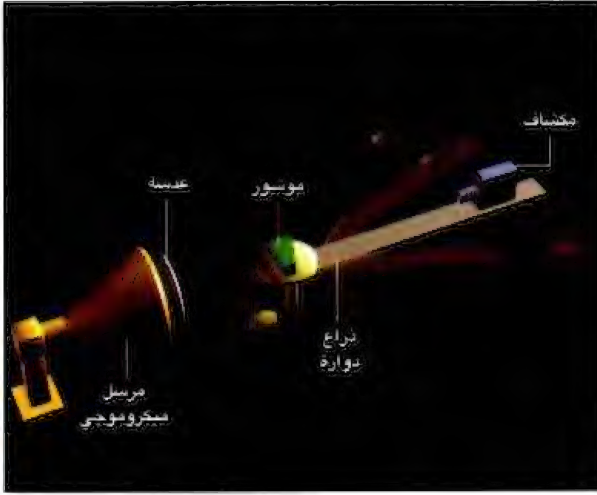
وتكون سرعتا المجموعة والطور في مادة
ذات قرينة سالبة، كما اكتشف «فيسيلاكو».

ENGINEERING A RESPONSE ...
Does It Really Work? ...

وافرت الأسلاك وسيط ϵ سالبا ووافرت
الحلقات المشطورة وسيط μ سالبا. وكلاهما
معاً ينبغي أن يعطيا، كما فكروا، قرينة
انكسار سالبة. وشكلوا كذلك، للمقارنة،
موشوراً مائلاً من التفلون Teflon، وهو مادة
ذات قرينة انكسار موجبة قيمتها $n = 1.4$. وجه
الباحثون حزمة من الموجات الميكروية إلى وجه
الموشور وكشفوا مقدار الموجات الميكروية
البارزة وفق زوايا مختلفة. وكما هو متوقع،
عانت حزمة الموجات الميكروية انكساراً موجباً

المجموعة الموجات الميكروية، لأن أكثر
المتطلبات صرامة بالنسبة إلى مادة مرفعة
هو أن تكون العناصر أصغر بصورة
محسوسة من الطول الموجي. ولما كان طول
الموجات الميكروية يبلغ عدة سنتيمترات، فمن
الممكن أن تكون أبعاد عناصر المادة المرفعة
عدة مليمتترات - وهذا مقياس مناسب.

صمم الفريق مادة مرفعة من أسلاك
ومجاويات حلقات مشطورة (SRR) متداخلة
معاً وجمعها على هيئة موشور prism. وقد



أكدت التجربة التي أجريت في الشركة بوينك فاننوم بسياتل باستخدام موشور من مادة مرفعة أولاً ثم من موشور من التفلون (ذي القرينة الموجبة) ظاهرة الانكسار السالب. فقد كسر التفلون الموجات الميكروية بزوايا موجبة (الخط الأزرق)؛ أما المادة المرفعة فبزوايا سالبة (الخط الأحمر).

وبمجرد أن بدأت حجج النقاد تنهار أتت تنكيدات تجريبية أخرى حول الانكسار السالب فقد كررت مجموعة «M» تانيليان» (في بوينك فاننوم Boeing Phantom Works بسياتل) تجارب جامعة كاليفورنيا باستخدام موشور من مادة مرفعة ذات امتصاص منخفض جداً وكذلك وضع فريق المجموعة بوينك المكشاف على مسافة أبعد كثيراً عن الموشور بحيث يمكن عدم اعتبار الامتصاص في المادة المرفعة السبب في حزمة الانكسار السالب وأخيراً وضعت الجودة النموذجية للبيانات التي قدمتها مجموعة بوينك والمجموعات الأخرى حداً لأني شكوك باقية حول وجود الانكسار السالب. وأصبحنا منذئذ أحراراً في انضي قدماً لاستغلال هذا المفهوم. وإن تكن دقة المواد الجديدة قد بسطته

ما بعد «فيسيلاكو»

بدأنا، بعد انقشاع دخان المعركة، ندرك أن القصة الرائعة التي قصها «فيسيلاكو» لم تكن الكلمة الأخيرة حول كيفية سلوك الضوء في المواد ذات القرينة السالبة. وكانت إحدى الأدوات المفتاح رسم الأشعة - وهي عملية رسم الخطوط التي تبين الطريق الذي ينبغي أن تسلكه أشعة الضوء، بما في ذلك انعكاسها وانكسارها عند السطح الفاصل بين المواد المختلفة.

إن رسم الأشعة تقنية فعالة تساعدنا، على سبيل المثال، على فهم لماذا تبدو الأشياء في حوض السباحة أقرب إلى السطح مما هي في الواقع، ولماذا يبدو قلم رصاص

Beyond Veselago (١٠)

تنكسران بزوايتين مختلفتين بعض الشيء. أما شكل الخفقتان الناتج فبديل أن يتبع الحزم المنكسرة انكساراً سالباً يبدو أنه يخضع بالفعل لانكسار موجب وبمساواة شكل الخفقتان هذا مع سرعة المجموعة استنتج الباحثون في تكساس أن أي موجة يمكن تحقيقها فيزيائياً سوف تخضع لانكسار موجب. فعلى الرغم من إمكان وجود مادة ذات قرينة سالبة، فإن الانكسار السالب كان مستحيلاً.

إذا افترضنا أن ما توصل إليه الفيزيائيون في تكساس كان صحيحاً، فكيف يمكن للمرء أن يفسر نتائج تجارب جامعة كاليفورنيا؟ لقد عزا «فالانجو» والعديد من الباحثين الانكسار السالب الظاهري إلى مجموعة من الظواهر الأخرى المختلفة. فربما امتصت العينة بالفعل قدراً كبيراً من الطاقة لدرجة أن الموجات لم تستطع أن تتسرب إلا من الجانب الضيق للموشور متحركة بهيئة موجات منكسرة انكساراً سالباً. وفي نهاية المطاف كانت عينة جامعة كاليفورنيا ذات امتصاص ذي شأن، والقياس لم يؤخذ عند مسافة بعيدة جداً عن وجه الموشور، وهذا يجعل نظرية الامتصاص هذه إمكاناً محتملاً. سببت هذه الاستنتاجات قلقاً كبيراً لأنها يمكن أن لا تؤدي إلى إبطال تجارب جامعة كاليفورنيا فقط، وإنما إلى إبطال جميع الظواهر التي تنبأ بها «فيسيلاكو» أيضاً. وبعد شيء من التفكير أدركنا، على أي حال، أنه كان من الخطأ الاعتماد على شكل الخفقتان دليلاً على سرعة المجموعة. وقد استنتجنا أن شكل التداخل الناتج لموجتين تسيران باتجاهين مختلفين يفقد علاقته بسرعة المجموعة.

متعاكستين في الاتجاه ومن الغريب أن التموجات المفردة للنبضة تسير إلى الخلف وحتى لو كان شكل النبضة كله يسير إلى الأمام. إن لهذه الحقيقة أيضاً نتائج مدهشة في حالة حزمة مستمرة من الضوء، مثل تلك التي تصدر عن مصباح ومضي مغمور كلياً في مادة ذات قرينة سالبة. فلو كان بإمكانك مراقبة التموجات المفردة للموجة الضوئية لكنت رأيتهما تخرج من هدف الحزمة وتسير إلى الخلف على طول الحزمة ثم تختفي في النهاية داخل المصباح الومضي كما لو كنت تشاهد فيلماً يُعرض بالعكس. مع أن طاقة الحزمة الضوئية تسير إلى الأمام مبتعدة عن المصباح، تماماً كما هو متوقع. وذلك هو الاتجاه الذي تسير الحزمة وفقه، على الرغم من حركة التموجات المذهلة نحو الخلف.

ليس من السهل عملياً دراسة التموجات المفردة لموجة ضوئية، كما أن تفاصيل النبضة يمكن أن تكون معقدة للغاية. ولذلك غالباً ما يلجأ الفيزيائيون إلى حيلة بارة لتوضيح الفرق بين سرعتي الطور والمجموعة. فإذا جمعنا معاً موجتين مختلفتي الطول الموجي تسيران في الاتجاه نفسه تداخلت الموجتان وولدتا شكلاً خفقتانياً beat. والخفقتان تسير بسرعة المجموعة.

لاحظ «M» «فالانجو» وزملاؤه (في جامعة تكساس بأوستن) شيئاً مثيراً للفضول عند تطبيق هذا المفهوم على اختبارات جامعة كاليفورنيا المتعلقة بالانكسار التي أجريت عام 2002. فحين تنكسر موجتان طولاهما الموجيان مختلفان عند السطح الفاصل بين مادة ذات قرينة سالبة وأخرى ذات قرينة موجبة فإنهما

العدسات ذات القرينة السالبة. وكان علينا، لأخذ الانعراج بالاعتبار، أن نستخدم وصفا أكثر دقة للحقل الكهرمغناطيسي

العدسة الفائقة

جميع مصادر الموجات الكهرمغناطيسية - سواء كانت ذرات مشعة أو هوائي راديو أو حزمة ضوء - بارزة بعد عبورها من خلال فتحة صغيرة - إذا وصفت بدقة أكبر فهي تُنتج نمطين متميزين من الحقول: الحقل البعيد والحقل القريب والحقل البعيد، كما تدل تسميته، هو الجزء الذي يُشعّ بعيدا عن الجسم ويمكن أن يلتقط بواسطة عدسة لتشكيل خيال ولكنه، للأسف، لا يحتوي إلا على صورة للجسم كما لو كانت مرسومة بفرشاة عريضة، ذلك أن الانعراج يحد من الميز فلا يتعدى قدّ الطول الموجي. أما الحقل القريب فهو يحتوي على تفاصيل الجسم الدقيقة جميعها، ولكن شدته تتناقص بسرعة مع ازدياد المسافة وليس للعدسات ذات القرينة الموجبة أي فرصة لالتقاط الحقل القريب الضعيف جدا ونقله إلى الخيال ولكن الأمر ليس كذلك بالنسبة إلى العدسات ذات القرينة السالبة

وبالفحص الدقيق للطريقة التي يتأثر بها الحقلان القريب والبعيد لمصدر ما مع عدسة «فيسيلاكو» استنتج «بندري» عام 2000 - وكان ذلك مفاجأة للجميع - أنه يمكن للعدسة، من حيث المبدأ، أن تعيد تبين كلا الحقلين: القريب والبعيد، فلو كان هذا التنبؤ المأهل صحيحا لعني ذلك أن عدسة «فيسيلاكو» لا تخضع لحد الانعراج الذي تخضع له جميع البصريات الأخرى المعروفة. وبناء على ذلك سميت الشريحة المستوية ذات القرينة السالبة عدسة فائقة superlens

وقد وجدنا، في تحليل لاحق، مع غيرنا من الباحثين أن ميز العدسة الفائقة محدود بجودة المادة ذات القرينة السالبة. فافضل أداء لا يتطلب فقط أن تكون قرينة الانكسار $n = -1$ ، وإنما أن يكون كل من $\epsilon = -1$ و $\mu = -1$ ، والعدسة التي لا تحقق هذه الشروط المثالية تعاني ميّزا سيئا إلى حد كبير. وإن تلبية هذين الشرطين في أن واحد هي مطلب أساسي لكن «A كريبك» و «V.G. إيفرياداس» [من جامعة تورنتو]

THE SUPERLENS (1)

العدسة إلى الجانب الآخر.

لقد كانت عدسة «فيسيلاكو» غير عادية، لدرجة أن «بندري» كان مضطرا لأن يتساءل بأي درجة من الكمال يمكن أن تصنع لكي تؤدي وظيفتها. وبصورة خاصة كم سيكون الميز resolution النهائي لعدسة «فيسيلاكو»؟ تكون العناصر البصرية ذات القرينة الموجبة مقيدة بحد الانعراج diffraction limit لتميز التفاصيل التي هي من قدّ الطول الموجي نفسه تقريبا للضوء، المنعكس عن الجسم أو أكبر منه يضع الانعراج الحد النهائي على جميع منظومات التصوير، مثل أصغر جسم يمكن رؤيته بواسطة مجهر أو أقرب مسافة بين نجمين يمكن تمييزها بواسطة مقراب. يحدد الانعراج كذلك أصغر الأشكال التي يمكن إنشاؤها بواسطة عمليات الطباعة الحجرية الضوئية في صناعة الشيبات الميكروية وبطريقة مشابهة يحد الانعراج من كم المعلومات التي يمكن تخزينها ضوئيا على قرص فيديو رقمي (DVD) أو استعادتها منه. ويمكن لطريقة تنقادي حد الانعراج أن تحدث ثورة في التقانات البصرية، ففتح للطباعة الحجرية الضوئية الوصول إلى مقاييس نانوية، وربما تسمح كذلك بتخزين بيانات أكثر بمئات المرات على الأقراص الضوئية.

وكان يلزمنا، لمعرفة إذا كانت البصريات optics ذات القرينة السالبة تتفوق أو لا على مثيلاتها ذات القرينة الموجبة، أن نتجاوز رسم الأشعة. فتلك المقاربة تهمل الانعراج ولذلك لا يمكن استخدامها للتنبؤ بميز

نصف مغموّر مثليا. إن هذا يحدث بسبب أن قرينة انكسار الماء (n تساوي تقريبا 1.3) أكبر من تلك التي للهواء، وتنتج أشعة الضوء عند السطح الفاصل بين الهواء والماء. أما قرينة الانكسار فتساوي تقريبا نسبة العمق الحقيقي إلى العمق الظاهري يقتضي رسم الأشعة أيضا أن الأطفال الذين يسبحون في حوض ذي قرينة انكسار سالبة سوف يبدو كما لو أنهم يطفون فوق السطح (وهذه صفة قيمة من صفات السلامة) كما أن جميع محتويات الحوض - وحاولته - سوف تبدو كذلك فوق السطح.

استخدم «فيسيلاكو» رسم الأشعة لكي يتنبأ بأن شريحة من مادة سالبة الانكسار، قرينة انكسارها $n = -1$ ، ينبغي أن تعمل عمل عدسة ذات خواص لا سابق لها. ومعظمنا يعرف جيدا العدسات ذات القرينة الموجبة - في آلات التصوير والعدسات المكبرة والمجاهر والمقاريب (التلسكوبات) ولها جميعها بعد بؤري، حيث يعتمد مكان تشكل الخيال على علاقة بين البعد البؤري والمسافة بين الجسم والعدسة. ويكون الخيال عادة مختلفا بمقاسه عن الجسم، وتعمل هذه العدسات بصورة أفضل عندما تقع الأجسام على المحور المار من العدسة. أما عدسة «فيسيلاكو» فهي تعمل بصورة مختلفة اختلافا كليا عن تلك [انظر الإطار في هذه الصفحة] إنها أبسط كثيرا، فهي تشكل أحيلا للأجسام المجاورة لها فقط وهي تنقل الحقل البصري بكامله من أحد جانبي

العدسة الفائقة

تشكل شريحة مستطيلة من مادة ذات قرينة سالبة عدسة فائقة. ينكسر الضوء (الخطوط الصفراء) الصادر عن الجسم (في اليسار) عند سطح العدسة، ثم يتجمع ليشكل خيالا معكوسا داخل الشريحة. ينكسر الضوء مرة أخرى لدى مغادرته الشريحة مشكلا خيالا ثانيا (في اليمين). يحتوي الخيال، من أجل بعض المواد المرفقة، تفاصيل أدق حتى من الطول الموجي للضوء المستخدم، وهذا يستحيل بالنسبة إلى العدسات ذات القرينة الموجبة.





سمكها 35 نانومتر (في اليمين) يبلغ طول شريط المقياس 2000 نانومتر. باستخدام العدسة الفائقة يكون الميز أدق من الطول الموجي للضوء المستخدم البالغ 365 نانومتر.

تعمل طبقة من الفضة عمل عدسة فائقة عند مسافات قصيرة جدا، وهنا صُوِّرت كلمة "NANO" بواسطة حزمة أيونية مبردة (في اليسار) وضوئيا من دون عدسة فائقة (في الوسط) وكذلك ضوئيا بوجود طبقة من الفضة

ينبغي تحقيقها والمتعلقة بالمواد ذات القرينة السالبة - وهذا مؤشر على التقدم السريع الذي حدث في هذا الحقل الناشئ وقد دفعت أفاق الانكسار السالب الفيزيائيين لإعادة فحص علم الكهرمغناطيسية جميعه تقريبا. وبمجرد أن أصبحت الظواهر الضوئية الأساسية - مثل الانكسار وحد الانعراج - مفهومة تماما صارت لديها انعطافات جديدة في سياق المواد ذات القرينة السالبة.

ولا يزال قائما ذاك الحاجز أمام ترجمة سحر المواد المرفعة والمواد ذات القرينة السالبة إلى تقانة قابلة للاستخدام. وستتضمن مثل هذه الخطوة جعل تصميم المواد المرفعة أكثر كمالا وجعل أسعارها مقبولة وإن المجموعات العديدة التي تعمل حاليا في هذا الحقل تتصدى بقوة لهذه التحديات

Toward the Future
permittedly
quantization of thermal conductivity

ويمكن أن تؤدي التجاوبات المتصلة للمعادن إلى سماحية $\epsilon = -1$ سالبة عند الأطوال الموجية الضوئية. وهكذا يمكن لطبقة رقيقة جدا من معدن أن تعمل عمل عدسة فائقة عند طول موجي تكون عنده $\epsilon = -1$. استخدم كل من «بلايكي» و«جانك» طبقة من الفضة سمكها نحو 40 نانومتر لتصوير ضوء طول موجته 365 نانومتر خارج من فتحات ذات أشكال أصغر من طول موجة الضوء وعلى الرغم من كون شريحة من الفضة بعيدة عن العدسة المثالية، فإن العدسة الفائقة الفضية حسنت بصورة جوهرية ميز الخيال، وهذا يبرهن على المبدأ الذي تعمل وفقه العدسات الفائقة.

نحو المستقبل

ليس البرهان على مبدأ العدسات الفائقة سوى الأخير من العديد من التنبؤات التي

بيناً في عام 2004 تجريبيا أن مادة مرفعة مصممة بحيث يكون لها $\epsilon = -1$ و $\mu = -1$ عند الترددات الراديوية، تستطيع بالفعل تمييز الأجسام عند مقياس أصغر من حد الانعراج. وبرهنت نتيجتهم على أنه بالإمكان بناء عدسة فائقة - ولكن هل يمكن بناء عدسة للأطوال الموجية الضوئية الأقصر

إن التحدي لجعل المواد المرفعة تناسب الأطوال الموجية الضوئية هو تحد مضاعف. فأولا، يجب إنقاص أبعاد العناصر المعدنية الموصلة التي تشكل الدارات الميكروية للمادة المرفعة مثل الأسلاك والمجاوبات SRR إلى مقياس النانومتر لكي تكون أصغر من الطول الموجي للضوء المرئي (400 إلى 700 نانومتر) وثانيا، إن الأطوال الموجية القصيرة تقابل الترددات الأعلى. وعند هذه الترددات تسلك المعادن سلوكا أقل شبيها بالموصلات، ولذلك فهي تجعل التجاوبات التي تعتمد عليها المواد المرفعة تتخامد

وفي عام 2005 بين «C-سوكوليس» [من جامعة ولاية أيوا] و«A» فيكنر» [من جامعة كارلسروه في ألمانيا] تجريبيا أنه يمكن أن تجعل المجاوبات SRR تعمل عند أطوال موجية صغيرة تساوي 1.5 ميكرون ومع أن التجاوب المغناطيسي يصبح ضعيفا تماما عند هذه الأطوال الموجية القصيرة، فلا يزال ممكنا تشكيل مواد مرفعة مشوقة.

لكننا مازلنا لا نستطيع صنع مادة يكون لها $\epsilon = -1$ عند الأطوال الموجية المرئية ولحسن الحظ هناك حل وسط ممكن فعندما تكون المسافة بين الجسم والخيال أصغر كثيرا من الطول الموجي يلزم فقط تحقيق الشرط $\epsilon = -1$ ويمكن عندئذ تجاهل الوسيط μ وفي العام 2005 فقط قامت مجموعة «R» بلايكي» [من جامعة كانتربري في نيوزيلندا] ومجموعة «X» جانك» [من جامعة كاليفورنيا في بيركلي] بصورة مستقلة باتباع هذه الوصفة وعرضتا ميزا فائقا superresolution في منظومة بصرية

المؤلفان

John B. Pendry - David R. Smith

كانا عضوين في فريق الباحثين الذي تشاطر جائزة ديكارت للبحث العلمي لعام 2006 لمساهمتهما في المواد المرفعة. وقد تعاونا على تطوير مثل هذه المواد منذ عام 2000. وكان تركيز «بندري» على البحث النظري و«سميث» على التجارب «بندري» أستاذ الفيزياء في الكلية Imperial College لندن. وكان اهتمامه الرئيسي مؤخرا مقتصرا على الظواهر الكهرمغناطيسية، إضافة إلى الاحتكاك الكمومي ونقل الحرارة بين النسي النانوية وتكمية التوصيل الحراري. و«سميث» أستاذ هندسة الكهرباء، والحاسوب في Duke University. وقد درس انتشار الموجة الكهرمغناطيسية في المواد غير العادية، ويتعاون حاليا مع عدة شركات لتحديد التطبيقات الجديدة للمواد المرفعة والمواد ذات القرينة السالبة وتطويرها

مراجع للاستزادة

Reversing Light with Negative Refraction. John B. Pendry and David R. Smith in *Physics Today*, Vol. 57, No. 6, pages 37-43; June 2004.

Negative-Refraction Metamaterials: Fundamental Principles and Applications. G. V. Eleftheriades and K. Balmain. Wiley-IEEE Press, 2005.

More information on metamaterials and negative refraction is available at www.ee.duke.edu/~drsmith/

www.cmth.ph.ic.ac.uk/photonics/references.html

esperia.iesl.forth.gr/~ppm/Research.html

www.nanotechnology.bilkent.edu.tr/

www.rz.uni-karlsruhe.de/~ap/ag/wegener/meta/meta.html

Scientific American, July 2006

تأثير برامج الطب العدلي التلفازية في قرارات المحلفين⁽¹⁾

لقد شعر المحامون والمحققون والمربون بمدى تأثير برامج الطب العدلي
التلفازية - التي تحظى بشعبية واسعة - في قرارات المحلفين.

< M. A. H. >

من الأدلة المادية في المحاكمات أمّا كون
مفعول البرامج CSI ذا تأثير قابل للقياس في
سلوك قاعة المحكمة، فما زال موضوعاً قابلاً
للنقاش. ومع ذلك، لا شك في أن نشاطات
رجال الشرطة تأثرت بالبرامج CSI، إذ
صاروا الآن يجمعون قدراً أكبر من الأدلة
مما كانت عليه الحال في أي وقت مضى.
كما تزايدت أسياً بعض برامج الطب العدلي،
التي تُعرض في مراكز الأبحاث والأقسام
الأكاديمية المختصة وقد حدث الشيء نفسه
في المختبرات المثقلة بأعبائها، وهي تختلف
كثيراً عن مراكز التحليل التي تعرض على
شاشات التلفاز كقصور مبهرجة تسطع
عليها أنوار زرقاء،

قُدّمت في الشهر 10/2005، وفي أحد أيام
الثلاثاء من ذلك الشهر، كان 27 في المئة من
جميع أجهزة التلفاز الأمريكية تعرض
البرامج CSI. وكانت قناة تلفزيونية كبلية
cable تقدم برنامجاً يُسمى ملفات الطب
العدلي⁽²⁾، وهو مسلسل له طابع وثائقي
يعرض جرائم واقعية وعلماء حقيقيين أربعة
أيام في الأسبوع. وتترك مثل هذه البرامج
انطباعاً بأن مختبرات الطب العدلي تعج
بمجموعة واسعة من الموظفين الذين تلقوا
تدريبات متطورة وتستعين بقدر كبير من
التجهيزات المبنية على أحدث التقنيات. وقد
أُتيحت لها الموارد الضرورية لإنهاء كل قضية
في الوقت المحدد لها.

بيد أن الفجوة بين فهم الناس لهذه
الأشياء والحقيقة ما زالت واسعة. ثم إن
شعبية هذه العروض أدت إلى تدمرات مما
أُطلق عليه اسم مفعول البرامج CSI. فقد
تولّد لدى الناس انطباع بأن بعض المحامين
والقضاة، الذين تلمذوا على البرامج CSI،
الذي ظل يبيد على الهواء منذ عام 2000،
صاروا يطالبون الآن بمستويات غير معقولة

كان علم الطب العدلي العمود الفقري
للروايات البوليسية (التي تُعنى بحل لغز
جريمة خفية) بدءاً من قصص مغامرات
دويان⁽³⁾ التي كتبها «A. E. يو»، مروراً
بـ«شارلوك هولمز» التي ألفها السير
«A. C. دويل». وبمسلسل Quincy الذي قدمه
للتلفاز الكاتب «J. كلوكمان»، وصولاً إلى
برامج الطب العدلي التي تلقى إقبالاً باهراً
في أيامنا هذه. وقد تبنّت الأساليب التي
اتبعتها المحقق «شارلوك هولمز» بكثير من
التقنيات الحقيقية للربط بين مرتكب الجريمة
والأدلة المادية، مثل فحص الدم. وقد اعتُبر
علم الطب العدلي مهنة في أوائل القرن
العشرين. وأصبح مثار اهتمام بالغ للناس
في تسعينات القرن الماضي، وذلك إثر
الحدث العلمي البارز، ألا وهو تحليل الدنا.
وفي هذه الأيام، تحظى ثمانية عروض
درامية للطب العدلي بشعبية لم تكن قط
تمتلكها سابقاً، وهي تتضمن برنامجاً
يعرض تحقيقاً في مسرح الجريمة⁽⁴⁾ CSI،
وبرامج مرتبطة به وهي تشغل المراكز
العشرين الأولى من بين جميع العروض التي

مفعول البرامج CSI في قاعة المحكمة⁽⁵⁾

في إحدى حلقات هذا الموسم من
مسلسل البرامج CSI، كانت الحلقة تضم
فريقاً تلفزيونياً يسجل نشاطات المحققين على
مسرح جريمة غير حقيقية. وهنا يرى كبير
المحققين «G. كريسوم» وهو يزجر الفريق
بقوله «لم تفعلوا هذا، وهناك عروض كثيرة
جداً للطب العدلي يقدمها التلفاز» هذا وإن
كثيراً من المحامين والقضاة، الذين يعتقدون

نظرة إجمالية/ العلم مقابل الخيال⁽⁶⁾

■ لاحظ المدعون العامون والقضاة وضباط الشرطة وجود ما يسمونه مفعول البرامج CSI،
الناتج عن برامج الطب العدلي (الشرعي) التلفزيونية، الذي يدفع المحلفين إلى طلبات غير
معقولة بخصوص كمية الأدلة المادية وجودتها.

■ لم يُلحَظ حتى الآن وجود مفعول البرامج CSI في قاعات المحاكم. لكن البرامج التلفزيونية أدت إلى
زيادة الطلب على الأدلة المادية، مما أسهم في طرح قضايا تتعلق بنقص عدد العاملين وأمكنة
تخزين الأدلة.

■ مما لا شك فيه أن العروض التلفزيونية أسهمت أيضاً في تعاظم اهتمام المعاهد العلمية بالأدلة
التي يقدمها الطب العدلي، ويشهد على ذلك التزايد الهائل في عدد المتقدمين إلى دراسة هذا
التخصص، منذ بدء عرض مسلسلات البرامج CSI على شاشات التلفاز.

(1) العنوان الأصلي CSI REALITY

(2) Overview: Science vs. Fiction

(3) The Effect in the Courtroom

(4) forensic عدلي أو شرعي

(5) Dupar Adventures

(6) DNA analysis

(7) CSI: Crime Scene Investigation

(8) Forensic Files

(9) CSI effect تأثير المحلفين بالتقنيات والإجراءات

(10) البالغ فيها والتي تعرضها البرامج التلفازية وتسعين

النائب العدلي لكشف الجرائم (التحرير)

بأن المحلفين واقعون تحت تأثير مفعول البرامج CSI، موافقون على رأي كبير المحققين. لكن إلى أي مدى يؤثر مسلسل البرامج CSI والبرامج المرتبطة به في توقعات المحلفين التي يأتون بها إلى المحاكمات؟

بدأت الصحافة تولي هذا الموضوع اهتمامها عام 2003، وذلك بسردها حكايات ونوادر رواها محامون وقضاة عما يبدو أنه تغير في سلوك المحلفين. وفي عام 2005، أخبر «ماركيز» [المدعي العام لولاية أوريغون ونائب رئيس الاتحاد الوطني للمدعين العامين] قناة CBS News الفضائية أن «المحلفين يتوقعون منا الآن إجراء اختبار الدنا في كل قضية تقريبا. إنهم يتوقعون منا أن نكون مستوعبين لأكثر التقانات تقدما، وأن تكون هذه التقانات شبيهة بما يرونه في التلفاز». وقد حدث ذلك فعلا، عندما شكوا المحلفون في قضية جريمة قتل ارتكبت في لوس أنجلوس، من أنه لم يجر على معطف ملوث بالدماء اختبار الدنا، مع أنه لم يكن لمثل هذا الاختبار ضرورة، ذلك أن المتهم اعترف بأنه كان موجودا في مكان الجريمة وقد صرح القاضي أن التلفاز أسهم في تعريف المحلفين باختبارات الدنا، لكنه لم يعلمهم متى يجب اللجوء إليها. وفي بحث أجري في Delaware عن كيفية تعامل المحلفين مع الأدلة، ورد أن أحد المحلفين في قضية دنا معقدة، شكك من أن هذا النوع من المشكلات التي واجهها في القضية لم يرد «في البرامج CSI».

وقد اتضح المحامون باللائمة على مفعول البرامج CSI، حين برأ محلفون في بالتيمور رجلا من ارتكاب جريمة، على الرغم من وجود شاهدي عيان موثوقين في مكان وقوعها، وذلك بسبب نقص الأدلة المادية. وقد صرح «إليفين» [محامي الدفاع في ولاية نيوجيرسي] لأحدى الصحف المحلية بقوله: لقد رأيت تغيرا كبيرا يطرأ على المحلفين وعلى ما يتوقعونه في السنوات الخمس الأخيرة. إن صاروا يطرحون أسئلة على القاضي خلال مداوالات المحاكمة للاستفسار عما يرونه أدلة ناقصة. إنهم يريدون معرفة أين تقع بصمات الأصابع أو الدنا فإذا لم تكن هذه الأشياء متوافرة، فهم يريدون معرفة سبب عدم توافرها. وفي محاولة القتل التي شُبت إلى الممثل «R بليك»، والتي جرت في كاليفورنيا، حاول المدعون العامون إقناع المحلفين بوجود دافع للجريمة لدى «بليك»، وبتوافر فرصة متاحة لارتكابها، واستدعوا

الشهود أكدوا أن «بليك» طلب إليهم قتل زوجته لكن لم يقدم أي دليل على وجود أي آثار للرصاص أو الدماء، لذا أُخلى سبيل «بليك» وقد روي عن أحد المحلفين قوله إنه لو كان المدعي العام يملك جميع هذه المعلومات، لحكم على «بليك» بأنه مذنب». وكانت هذه الهزيمة هي الأولى التي تعرض لها المدعي العام من بين 50 قضية قتل

وقبل أن تحظى البرامج CSI بشعبية واسعة. أصاب معظم المحامين قلق ناجم عن تشككهم في قدرة المحلفين على فهم تعقيدات أدلة الدنا. ومع أن كثيرا منهم يمضي حاليا وقتا طويلا في استيضاح الفرق بين الواقع وما يبثه التلفاز، فقد أصبح من الممارسات العادية للمحامين أن يسألوا المحلفين المستقبليين عن متابعتهم للبرامج التلفزيونية المتعلقة بمواضيع الطب العدلي ثم إن بعض المدعين العامين يحاولون إبعاد أي آثار محتملة لمفعول البرامج CSI عن القضايا

الجرمية وفي المحاكمات التي تجري في ولايات أريزونا وإلينوي وكاليفورنيا. وضعوا في قاعة المحكمة أشخاصا يطلق عليهم اسم شهود أدلة النفي في مكان وقوف الشهود بغية لفت انتباه المحلفين إلى أن المحقق في الحياة الواقعية غالبا ما يخفون في العثر على أدلة مادية مثل الدنا أو البصمات. في مسرح الجريمة

negative evidence witnesses

مفعول البرامج CSI: غير مذنب بسبب التلفاز؟



أدت ندرة الأدلة المادية إلى تبرئة ساحة الممثل (R. بليك) [الذي يظهر في الصورة وهو يقبل محاميه بعد صدور قرار تبرئته] من جريمة قتل زوجته (L.B. باكلي) عام 2001. على الرغم من وجود الدافع لديه والفرصة المتاحة لارتكاب الجريمة، ويرى المحامي وهو يرفع غالبا بيده الجهاز ankle monitor وفي دعوى مدنية أقيمت في وقت لاحق، ثبت أن «بليك» كان مسؤولا قانونيا عن حادثة الموت الأليمة.

المُحلفين المذنبين على مشاهدة عروض البرامج CSI، والمُحلفين الذين لم يشاهدوها - أي إنها توصلت إلى غياب مفعول البرامج CSI. بيد أن ثمة كثيرا من المُحلفين، الذين أخضعوا للدراسة، قالوا بأن الاقتدار إلى اختبارات الطب العدلي موضوع يجب أن يتخذ فيه قرار حاسم، مع أن الأدلة المادية قد لا تحل مشكلة التهم الافتراضية. هذا وقد أجريت دراسات على مُحلفين حقيقيين، ويقوم حاليا خمسة من الطلبة الخريجين (ثلاثة في الولايات المتحدة، واثنان في إنكلترا) بإعداد أضرحتهم عن مفعول البرامج CSI

ما هو الحقيقي

سواء أكانت عروض الطب العدلي تؤثر تأثيرا يمكن قياسه في طلبات المُحلفين وقراراتهم أم لا. فما من شك في أن التلفاز يقدم للمشاهدين صورة مشوهة عن الطريقة التي يتغذ بها علم الطب العدلي، وعمّا يمكن، أو لا يمكن، أن ينجزه هذا العلم فالممثلون الذين يؤدون في التلفاز، مثلاً، أدوار طاقم التحقيقات في الجرائم، هم خليط مكون من ضابط في الشرطة ومحقق وعالم في الطب العدلي - وهذا التوصيف الوظيفي غير

لكنني في واقع الأمر لا أتذكر أي موقف سمعت فيه هيئة المُحلفين تقول بأنها كانت تتوقع المريد.

في عام 2005، كتب «د. كول» [من قسم علم الجريمة والقانون والمجتمع في جامعة كاليفورنيا] في مجلة «ول ستريت جورنال» - ربما كان القول بأن التلفاز أثر في قاعات المحاكم ليس بالكلام المستحيل، لكن القول بأن مسلسل البرامج CSI والعروض المشابهة له تزيد من عدد قرارات التبرئة هو ادعاء مذهل. وما تجدر ملاحظته، عند الحديث عن عروض الطب العدلي، هو أنه لا يوجد قدر قليل من الأدلة المطلوبة لدعم التحقيقات فيها ثمة ميدان واسع من الأبحاث التي تدرس اتخاذ المُحلفين لقراراتهم، لكن لا وجود لدراسة هدفها تحديد أهمية مفعول البرامج CSI. فما هو متوافر يقتصر على أدلة من نوع الحكايات والناوادر.

ويبدو أن أول دراسة أجريت على مفعول البرامج CSI هي تلك التي نشرتها في الشهر 2006/2 «ك. بودلاس» [المحامية والأستاذة المساعدة في قوانين وأخلاقيات وسائط الإعلام في جامعة نورث كاليفورنيا] وقد خلّصت «بودلاس» في دراستها إلى أن فرص التبرئة وأسبابها كانت نفسها في جالتي

موجود في عالم الواقع. فكل من تنفيذ القوانين والتحقيق وعمل الطب العدلي معقد جداً، إذ إن كلاً من هذه الأعمال يتطلب فرعاً علمياً وتدريباً وطاقات خاصة به. ثم إن التخصص في مختبرات الطب العدلي صار ضرورة ملحة منذ أواخر الثمانينات. وكل عالم بالطب العدلي بحاجة إلى معرفة إمكانات الفروع العلمية الأخرى، لكن لا وجود لعالم يعد خبيراً في كل من مجالات التحقيق في مسرح الجريمة

يضاف إلى ذلك أن المختبرات لا تجري دائماً جميع أنواع التحاليل بسبب تكلفتها أو قلة مواردها أو ندرة الطلبات عليها: ثم إن العروض التلفازية تسيء تقديم علماء الطب العدلي، إذ توحي بأن لديهم متسعاً من الوقت لكل قضية: فغالبا ما يولي عدد كبير من المحققين والتقنيين والعلماء اهتمامهم كله لإجراء تحقيق واحد. أما في واقع الحال، فإن العالم يكون مضطرباً بعدة قضايا موكولة إليه: ثم إن معظم مختبرات الطب العدلي تجد المسوغات لأعتبار التحاليل المقدمة إليها من المشكلات المعقدة، لذا فإن القيام بها غالباً ما يكون مبرراً لطلب ميزانيات أكبر لهذه المختبرات

وفي تصويرها للتحقيقات العلمية، تختلف أيضاً برامج الطب العدلي. المقدمة في العروض التلفازية، عما يجري في العالم الحقيقي ويقدر «T» موريلو» [أستاذ الطب العدلي في جامعة ماريلاند] أن نحو 40 في المئة من التحقيقات التي تستعين بالطب العدلي، والتي تعرضها البرامج CSI، ليس لها وجود في الواقع. هذا وإن «هندرسون» [مديرة دار المقاصة الوطنية للعلوم والتفانة والقانون في كلية الحقوق التابعة لجامعة ستيتسون] أخبرت إحدى محطات الإذاعة التابعة للجامعة بأن المُحلفين «يصابون أحياناً بخيبة الأمل إذا لم تُستعمل بعض التقانات الجديدة التي يظنون أنها موجودة». وبالمثل، فإن المحققين العاملين لا يمكنهم أن يبلغوا الدقة التي بلغها نظراؤهم على شاشة التلفاز، فباستطاعة ممثل في التلفاز تحليل عينة مجهولة باستعمال جهاز ذي شاشات مضيئة وأضواء متوهجة، والحصول على النتيجة: «أحمر شفاف من النوع ماكس فاكتور، رقم اللون 42، رقم الدفعة A-439» ويستطيع هذا الممثل نفسه أن يستجوب شاهداً ثم يقول: «نعرف أن الضحية كانت معك، لأننا اكتشفنا

What is Real?

من سيحلل جميع هذه الأدلة؟

احمر شفاهها على ياقته. أما في الحياة الواقعية، فنادرًا ما تكون الأجوبة محددة بهذه الدرجة، كما أن من المحتمل ألا يواجه التحقيق الجنائي مباشرة شخصًا مشتبهًا به. هذا ويمكن أن يتمخض عن هذا الاختلاف بين الحقيقة والخيال نتائج غريبة فقد صرح ضابط شرطة من نوكسفيل بولاية تيسيسي بقوله: «كنت أحقق في قضية شخص حاول اللصوص سرقة سيارته، وقد ذكر لي أنه رأى ليفًا أحصر في القسم الخلفي من السيارة، وطلب إلي إجراء تحاليل لمعرفة مكونات هذا الليف، وذلك للوصول إلى مخزن البيع بالفرق الذي اشتري منه، وبطاقة الانتماء التي استعملت.»

الأنين تحت الأعباء

على الرغم من عدم وجود جميع الأدوات التي تستعملها فرق البرامج CSI التلفزيونية، فلدَى علماء الطب العدلي تقانات متقدمة تزداد مع الزمن تطورًا وتعقيدًا. لقد كانت تتطلب طرائق اختبار الدنا الأولية، التي استعملت في أواخر الثمانينات، عينات بحجم ربع دولار أمريكي، أما الأساليب الحالية في التحليل فيكفيها عينة وزنها بضعة نانوغرامات (nanograms). ومن حين إلى آخر، نسمع في نشرات الأخبار عن حل لغز جريمة سجلت ضد مجهول أو عن استبعاد مشتبه فيه أو عن إلغاء حكم قضائي. وكل ذلك نتيجة استعمال تقانة متقدمة في علم الطب العدلي وقد أضحت قواعد بيانات الدنا وبصمات الأصابع ونخائر الأسلحة النارية. مصادر مهمة تمكن من الربط بين المجرمين والجرائم المتعددة التي ارتكبوها.

ومع ذلك، وبعبء عن حصرية عرض المعجزات التي نراها على شاشات التلفاز، يبذل كثير من المختبرات جهودًا حثيثة في مجال تحاليل الطب العدلي استجابة للطلبات المتزايدة الموجهة إليها وفيما يتزايد تقدير محققى الشرطة لفوائد علم الطب العدلي، ويتزايد أيضًا تعرضهم لضغوط كي يقوموا بجمع قدر أكبر من الأدلة، فإنهم يقدمون مزيدًا من المواد المتعلقة بكثير من القضايا ليقوم الطب العدلي بتحليلها هذا ويقول المحققون في سلك الشرطة، الذين كانوا يجمعون في وقت من الأوقات خمسة من الأدلة من مسرح الجريمة، إنهم يجمعون الآن ما يراوح بين 50 و 400 دليل. وفي عام



بغرض خزّن ومتابعة ملايين الأدلة المادية نحبًا حقيقياً بواجهة المعنيين بتطبيق القوانين ومختبرات الطب العدلي.

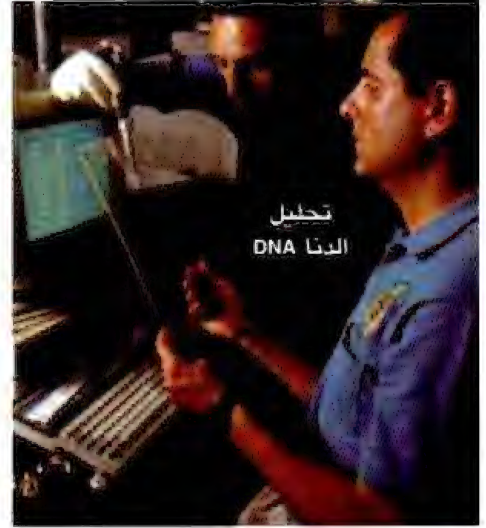
النمط الذي يتطلب، إلى حد بعيد، استعمال أدلة الدنا وهكذا يبدو أن عدد العاملين في برامج الطب العدلي في ماساتشوستس، مثلها مثل كثير من الولايات الأخرى، قليل نسبياً. ولحسن الحظ، اكتشفت هذه الولاية عدم التوازن هذا، وفوضت إلى أصحاب العلاقة توظيف مزيد من محلي الدنا في مختبرات الطب العدلي.

لقد ترتب على هذه النزعة الجديدة استفحال المشكلة المزعجة أصلاً وقد توصلت دراسة، نشرها حديثاً مكتب الإحصائيات القضائية التابع لوزارة العدل في الولايات المتحدة، إلى أنه في أواخر عام 2002 (الذي أتيحت فيه آخر البيانات)، جرى تحويل أكثر من نصف مليون قضية إلى مختبرات الطب العدلي، وأن نسبة ما نُفِّذ من كامل الاختبارات المتعلقة بها يعادل 90 في المئة أو أكثر. وقد قُدِّرَت الدراسة أنه بغية إنجاز طلبات التحاليل لذلك العام، لا بد من توظيف 1900 شخص إضافي يعملون كامل ساعات الدوام المعتادة وفي دراسة أخرى أجرتها وزارة العدل، تبين أن أكبر 50 مختبراً للطب العدلي تسلمت عام 2002 أكثر من 1.2 مليون طلب لإجراء تحاليل. وهذا

Graining under the Load
19 نانوغرام 10⁻⁹ غرام

1989، لم تعالج مختبرات الطب العدلي في فرجينيا سوى بضع دسمات من القضايا. أما عدد القضايا، التي تنخرط فيها المختبرات هذا العام، فقد بلغ الآلاف. وبالطبع، ليس من الممكن ولا من الضروري، أخذ كل شيء من مسرح الجريمة للتحليل. ولكن الضغوط الاجتماعية والمهنية والسياسية، المستندة إلى احتمالات غير واقعية والتي تولدها البرامج التلفزيونية، تقتضي أنه إذا جلب ضابط حقيبة ملوثة بأعقاب السجائر والأوراق التي تغلف الوجبات السريعة ونفايات أخرى، فثمة احتمال كبير بتحويل معظم هذه المحتويات إلى مختبرات التحليل.

ثم إن هذا العمل كله يجب إنجازه، في كثير من الحالات، من قبل موظفين مثقلين بالأعباء الوظيفية فعلى سبيل المثال، إن عدد سكان ولاية ماساتشوستس الموجودين خارج بوسطن، يقدر بنحو 6.3 مليون نسمة، وعدد محلي الدنا في هذه المنطقة ثمانية (وفي بوسطن نفسها، يوجد ثلاثة محللين) أما في مدينة نيويورك، التي عدد سكانها 8 ملايين نسمة، فيوجد 80 محللاً للدنا. بيد أنه يوجد في ماساتشوستس ومدينة نيويورك معدلان متقاربان من جرائم العنف (469.4 مقابل 483.3 لكل 100 000). وهذه الجرائم هي من



مختبرات علم الطب العدلي، والمعاهد التعليمية والطلبة وقد وفّر هذا التقرير القاعدة لهيئة منح الإجازات المتعلقة ببرامج الطب العدلي بإشراف الأكاديمية الأمريكية لعلوم الطب العدلي، وبدءاً من الشهر 1/2006، حصل 11 برنامجاً على إجازات مؤقتة أو شرطية أو كاملة

ومن المحتمل أيضاً أن تكون شعبية البرامج CSI قد أثرت في ديموغرافية علم الطب العدلي، ففي التسعينات، كان تمثيل النساء والأقليات ناقصاً في الأدوار الرئيسية للمسلسلات التلفزيونية المتعلقة بالمواضيع العلمية. لكن السجل الحديث للبرامج CSI بين أن هذا التمثيل تحسّن عموماً. فالنساء موجودات الآن في معظم برامج الطب العدلي التعليمية بالولايات المتحدة، وكذلك في مهنة الطب العدلي هذا وإن ثلثي عدد العاملين في إدارة مختبرات الطب العدلي هم حالياً من الذكور، لكن هذا الرقم سيتناقص قطعاً مع تقدم عدد العاملات من النساء.

ومع ذلك، فإن أفضل نتيجة للاهتمام الشعبي بالطب العدلي، هي زيادة الاستثمارات في الأبحاث التي تجرى فيه. ففي الماضي، كان معظم هذه الأبحاث يجري في مختبرات الشرطة التي تعمل في مسائل محدّدة لها علاقة بالقضية الخاضعة للتحقيق. لكن التقدم الحقيقي لهذه التقانات يتطلب إجراء الاختبارات في مختبرات أكاديمية. فمثل هذه المختبرات يستطيع دراسة مسائل من الواضح أنها تحتاج إلى مزيد من البحث، وعلى سبيل

10 000 عالم إضافي في الطب العدلي للتعامل مع هذه المواضيع المتنوعة. يضاف إلى ذلك أن تنفيذ تحديث مناسب لمراقب الطب العدلي سيكلف 1.3 بليون دولار، وإن شراء آلات جديدة يتطلب توظيف مبلغ يتجاوز 285 مليون دولار

الأثر في الحرم الجامعي

لدى النظر إلى الجانب الإيجابي، نستطيع القول إنه تكوّن عند الناس، عن طريق عروض البرامج CSI والبرامج القريبة منها، انبهار بالعلم وإجلال له، بوصفه مهنة مثيرة ومهمة كانت غائبة عن الجماهير منذ برنامج أبولو الفضائي هذا وإن الانخراط في البرامج التعليمية للطب العدلي أخذ في الانتشار الواسع في طول الولايات المتحدة كلها، وعلى سبيل المثال، بدأ برنامج الطب العدلي في جامعة هونولولو بخمسة عشر طالباً، لكن هذا العدد بلغ مئة في أربع سنوات، وفي جامعة وست فرجينيا، التي تعمل فيها، تنامي برنامج علوم التحقيق الجنائي والطب العدلي كثيراً، بعد أن كان مقتصرًا على أربعة خريجين فقط عام 2000، لكنه يشغل حالياً المرتبة الثالثة في الكبر بالحرم الجامعي، ذلك أنه يضم الآن أكثر من 500 طالب

إن نمو البرامج الموجودة واستحداث برامج جديدة، أدّى إلى إصدار المعهد الوطني للعدالة، بالتعاون مع جامعة وست فرجينيا، تقريراً خاصاً بعنوانه التعليم والتدريب في علم الطب العدلي. دليل

يعني أن عدد القضايا التي قُدمت إلى هذه المرافق تضاعف خلال سنة واحدة. وقد حدثت هذه الزيادات مع أن معدلات الجريمة أخذت تنحدر منذ عام 1994.

وثمة أثر جانبي آخر للحجم المتصاعد للأدلة المادية، يتجلى في الحاجة إلى تخزينها مدداً مختلفة من الزمن، إذ إن هذه المدد مرتبطة بالقوانين المحلية وقوانين الولاية والقوانين الفدرالية (الاتحادية) وتتضمن تحديات تخزين الأدلة وجوب متابعة الأدلة من قبل الحواسيب والبرمجيات والعاملين واختبار التجهيزات المناسبة لأجراء تصنيف أمن للأدلة البيولوجية مثل الدنا وتوافر مخازن مناسبة لحفظ الأدلة المادية. وفي كثير من التشريعات القضائية، يمكن بعد الاحتفاظ بالأدلة لفترة محددة من الزمن إتلافها أو إعادةّها إلى مصدرها. هذا وإن عملية التخزين قد تكون موضوعاً حساساً في القضايا القديمة أو المبتة - فقد توصّلت إحدى كليات الحقوق في مدينة نيويورك إلى أن الأدلة لن يكون لها وجود في 75 في المئة من التحقيقات التي يحتمل ألا تنتهي إلى إدانات

إن مجرد متابعة الأدلة الموجودة فعلاً يمكن أن يكون مسألة إشكالية. فقد أثار بحث أجريته الجمعية الأمريكية لمديري مختبرات (مخابر) الجريمة، إلى أن أكثر من ربع عدد مختبرات الطب العدلي الأمريكية لا تفتني الحواسيب اللازمة لتعقب الأدلة ويُقدّر ٩٠ ديل [مدير معهد الطب العدلي في إحدى الجامعات، ومدير مختبر دائرة شرطة نيويورك سابقاً] أنه في العقد القادم ثمة حاجة إلى أكثر من

The Effect on Famous old or cold cases



إحقاق الحق في القضايا الجرمية وفي القرن الحادي والعشرين، تمثل مختبرات الطب العدلي، المجهزة جيداً، والتي يعمل فيها عدد كاف من التخصصيين، مرافق أساسية لتحقيق هذه الالتزامات. هذا وإن الاهتمام الشعبي بعلوم الطب العدلي يتزايد مع الوقت ومع التحديات التي تثيرها دقة هذه العلوم وقدراتها. وحتى لو لم يكن لما يسمى مفعول البرامج CSI وجود في قاعة المحكمة، فإن المفعول الحقيقي هو إدراك الحاجة إلى تطوير مختبرات علوم الطب العدلي وأبحاثه.

validat 11

أخطائها ومعايير إجراءاتها ومن الواضح أن تمويلها أكبر من هذه الأبحاث سيكون إنجازاً عظيم الفائدة: فمن المثير للعجب أن تنفق الولايات المتحدة 7 ملايين دولار فقط في السنة المالية 2006 على الأبحاث في الطب العدلي من خلال المعهد الوطني للعدالة (NIJ)، في حين يُنفق 127 مليون دولار على الطب البديل من خلال المعهد الوطني للصحة NIH. إن أحد أهم التزامات حكومة ديمقراطية لمواطنيها، هو أن تكفل لهم السلامة العامة بطريقة عادلة ويمثل الطب العدلي جزءاً مهماً لا يتجزأ من عمليات

المؤلف

Max M. Houck

مدير مشروع علوم الطب العدلي (الشرعي) التابع لجامعة ويست فرجينيا وكخبير في دلة الأثر ونثروبولوجيا الطب العدلي فقد عُهد إليه الاشراف على Trace Evidence Unit في مختبر مكتب التحقيقات الفدرالي بين عامي 1992 و 2001. حصل على الدكتوراه في الأنثروبولوجيا والماستير في أنثروبولوجيا الطب العدلي من جامعة متسبكان الحكومية وهو رئيس 'الهيئة المسماة: Forensic Science Educational Program Accreditation Commis- sion، وعضو في هيئة تحرير مجلة علوم الطب العدلي (JFS) والمجلة Journal of Forensic Identification، وعضو في الأكاديمية الأمريكية لعلوم الطب العدلي وعضو مشارك في الجمعية الأمريكية لمديري مختبرات الطب العدلي وفي الاتحاد الدولي لكشف الجرائم.

مراجع للاستزادة

The CSI Effect: Fake TV and Its Impact on Jurors in Criminal Cases. Karin H. Gather in The Prosecutor, Vol. 38, No. 2, March/April 2004.

Public Forensic Laboratory Budget Issues. Perry M. Koussias in Forensic Science Communications, Vol. 6, No. 3, July 2004. Available at www.fbi.gov

Trace Evidence Analysis: More Cases in Forensic Microscopy and Mute Witnesses. Max M. Houck. Elsevier/Academic Press, 2004

Fundamentals of Forensic Science. Max M. Houck and Jay A. Siegel. Elsevier/Academic Press, 2006.

For updates on forensic science legislation, visit: www.crimelabproject.com/

Scientific American, July 2006

«كاترين بيلو» تؤدي دور محقق عدلي في البرامج التلفزيونية CSI.

المثال. تبين أن التحديات القانونية الحديثة تتطلب دراسة موضوع يتعلق بفرضية طال قبولها، وهي الوحدة المعلقة لخصائص الأصابع وعلامات الاختتام وأثار العض وحزوز الرصاصات والخطوط.

ومع تعاظم الاعتماد على علوم الطب العدلي، من الضروري أن تحظى هذه العلوم بدرجة أعلى من المصادقية وقد أورد تقرير حديث، أعد المعهد الوطني للعدالة، أن الأبحاث الأساسية ضرورية لتحقيق من صحة البصمات والدمغات والاختتام وإزالة الوثائق. ولفحص الأسلحة النارية وقد أوصى التقرير أيضاً بأن ترفع الحكومة الفدرالية أبحاثاً لشرعة فروع علم الطب العدلي ومعالجة مبادئها الأساسية ومعدل

إنسالة (روبوت) في كل بيت

يتنبأ قائد ثورة الحاسوب الشخصي
بأن الحقل الساخن القادم سوف يكون الإنسالية.

<B. كيتس>

لكن ما هو في ذهني فعلا شيء آخر أشد ارتباطا بالحقبة الحالية، وهو بزوغ الصناعة الإنسالية التي تتطور بالطريقة نفسها التي تطورت بها صناعة الحاسوب قبل 30 عاما. إنسالات التصنيع المستخدمة حاليا في خطوط إنتاج السيارات يمكن أن تُعتبر مكافئة لحواسيب الأمس الكبيرة. ومن المنتجات البارزة لهذه الصناعة أيضا أنزغ إنسالية تقوم بالجراحة، وإنسالات استطلاع نُشرت في العراق وأفغانستان للتخلص من القنابل المزروعة في جوانب الطرق، وإنسالات منزلية لتنظيف أرض الغرف. وقد صنعت شركات الإلكترونيات دمي إنسالية يمكنها تقليد الناس أو الكلاب أو الدينوصورات. وينتظر الهواة بفارغ الصبر وضع أيديهم على أحدث إصدار من نظام ليغو Lego الإنسالي.

وفي الوقت نفسه، يحاول بعض أفضل الأدمغة في العالم حل أصعب المسائل في الإنسالية، كالإدراك البصري وتحديد المسار وتعلم الآلة. وهم يُحرزون نجاحا في هذا المضمار. ففي عام 2004، في التحدي الأكبر الذي ترعاه وكالة مشاريع أبحاث الدفاع المتقدمة (DARPA)، وهو مسابقة لصنع أول عربة إنسالية تستطيع تحديد طريقها ذاتيا على طريق طوله 142 ميلا في صحراء موباف، تمكن أفضل منافس من قطع مسافة 7.4 ميل فقط قبل أن يتعطل. أما في عام 2005، فقد قطعت خمس عربات المسافة كلها، وأنجزت العربة الرابعة ذلك بسرعة وسطحية تساوي 19.1 ميل في الساعة. (في تشابه مذهش آخر بين صاعتي الحاسوب والإنسالية، مولت DARPA أيضا العمل لإقامة الشبكة Arpanet، وهي سلف precursor الإنترنت).

والأكثر من ذلك هو أن الصعوبات التي تواجه الصناعة الإنسالية اليوم تشابه تلك التي واجهتنا في صناعة الحاسوب قبل ثلاثة عقود. فليس لدى شركات الإنسالية برمجيات تشغيل مقيسة standard تتيح تشغيل برامج التطبيقات الشائعة في تجهيزات

تخيل أنك تشهد الآن ولادة صناعة جديدة. إنها صناعة تقوم على تقانات حديثة ذات اكتشافات جديدة، حيث تباع بضعة من الشركات العريقة تجهيزات شديدة التخصص للاستخدام في العمل، ويُنتج عدد متزايد من الشركات المبتدئة دمي خلاقة وأدوات للهواة ومنتجات خاصة مهمة أخرى. لكنها أيضا صناعة شديدة التبعية، فليس فيها سوى بضعة مقاييس ومنصات عامة، ومشاريعها معقدة وتطورها بطيء، وتطبيقاتها العملية نادرة نسبيا. وفي الواقع، ومع كل ما فيها من إثارة وبشيرة، لا يستطيع أحد أن يقول بيقين متى، أو هل، سوف تصل هذه الصناعة إلى الكتلة الحرجة. لكنها إذا وصلت إليها، فإنها قد تغير العالم.

يمكن طبعاً للفقرة السابقة أن تمثل وصفاً لصناعة الحاسوب في منتصف سبعينيات القرن العشرين، حينما أسست مع «آل» الشركة مايكروسوفت حينئذ. كانت الحواسيب الكبيرة الباهظة التكلفة تغدو عطلات أقسام الحاسبة ومعالجة البيانات في الشركات الكبرى ووزارات الدولة والهيئات الأخرى. وكان الباحثون في الجامعات والمختبرات الصناعية المتقدمة يصنعون لبنات البناء الأساسية التي يمكن أن تجعل عصر المعلومات ممكن الوجود. حينها طرحت الشركة إنتل المعالج الميكروي 8080، وكانت الشركة أتاري تباع اللعبة الإلكترونية الشهيرة Pong وجهزت نوادي الحاسوب المحلية لتعرف تماما كيف يمكن لهذه التقنية الجديدة أن تكون مفيدة.

نظرة إجمالية/ مستقبل الإنسالية

- تواجه الصناعة الإنسالية كثيرا من التحديات نفسها التي واجهتها صناعة الحاسوب الشخصي قبل 30 عاما. فبسبب الافتقار إلى مقاييس (معايير) ومنصات عامة، على المصممين عادة البدء من الصفر حين بناء الآتهم.
- والمعطلة الأخرى هي تمكين الإنسالات من تحسس بيئتها والاستجابة إليها بسرعة. والانخفاض الأخير في تكاليف طاقة المعالجة والمحسبات سوف يمكن الباحثين من التصدي لهذه المشكلات.
- يمكن لبنات الإنسالات أيضا الاستفادة من الأدوات البرمجية الجديدة التي تسهل كتابة برامج تعمل في أنواع مختلفة من العتاديات. ويمكن لشبكات الإنسالات اللاسلكية أن تستمد طاقة حسابية من حواسيب شخصية لمعالجة مهام من قبيل الإدراك البصري وتحديد المسار.

A ROBOT IN EVERY HOME (١٠)

Overview: The Robotic Future (١٠٠٠)

(١) إنسالة robot نحت من إنسان-آلي، ومنها نشق إنسالية robotics

(٢) ج مقيس standard أو معيار، عيار

(٣) platform، وتعني في هذا المقام آلة حاسوبية

(٤) critical mass الكتلة الحرجة وهي مقدار المادة المشعة اللازمة لحصول سلسلة

التفاعلات النووية

Grand Challenge (٤١)

Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) (٤١)

(٥) Mojave Desert، صحراء تقع في جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية

(التحرير)

إن قلة من إنسالات الغدة المنزلية يمكن أن
تشابه الآلات المسيحية بالبنشر التي تصد
عنها روايات الخيال العلمي، إلا أن العدد
الكبير منها سوف يكون على الأرجح تجهيزات
طرفية نقالة تقوم بمهام منزلية محددة.



يمكن للإنسالة والحاسوب الشخصي أن يكونا صديقين^(١)

إنسالة تنظيف أرض الغرفة

إنسالة تقديم الطعام والدواء



إنسالة طي الغسيل

إنسالة استطلاع

THE ROBOT AND THE PC CAN BE FRIENDS (١٤)

مبتكرة. وتقييس المعالجات والعتاديات الإنسانية الأخرى محدود أيضا، وقليل من برامج التكوين المستخدمة في آلة معينة يمكن أن يستخدم في آلة أخرى وحينما يرغب أحد ببناء إنسالة جديدة، فإن عليه عادة البدء من المربع الأول

وعلى الرغم من هذه الصعوبات، حينما تحدث إلى الناس المتحمسين في الإنسالية - من الباحثين في الجامعات إلى التجار والهواة وطلبة المدارس - فإن مستوى الإثارة والتوقعات لديهم تذكرني كثيرا بذلك الزمن عندما ترقبت (المؤلف) و«آل» تلاقى الثقافات الجديدة معا وطمعنا باليوم الذي يصبح فيه الحاسوب على كل مكتب وفي كل بيت وحينما أنظر إلى التوجهات التي بدأت اليوم بالتقارب، أستطيع رؤية مستقبل سوف تصبح فيه التجهيزات الإنسالية شائعة تقريبا في حياتنا اليومية. إنني أعتقد أن ثقافات من قبيل الحوسبة الموزعة، وتعرف الكلام والصورة، والاتصالات اللاسلكية العريضة المجال سوف تفتح الباب أمام جيل جديد من التجهيزات الذاتية التحكم التي تمكن الحواسيب من تنفيذ مهام في العالم المادي نيابة عنا وقد يكون على عتبة حقبة جديدة سوف ننزل فيها الحواسيب الشخصية عن سطح المكتب لنتمكن من رؤية وسمع ولمس وتداول أشياء في أمكنة لا توجد فيها مادي

من الخيال العلمي إلى الواقع

أشاع الكلمة "robot"، أي «إنسالة»، الكاتب المسرحي التشيكي Karel Capek. وذلك في عام 1921. إلا أن الناس تخيلوا صنع أدوات شبيهة بالإنسالات منذ آلاف السنين ففي الأساطير اليونانية والرومانية، بنت الالهة فنون المعادن. خدما عيكانيكيين من الذهب وفي القرن الميلادي الأول، صمم «هيرون» الاسكندراني (وهو المهندس العظيم الذي نسب إليه اختراع أول محرك بخاري) آلات مذهشة، منها ما قيل عنه إنه يمتلك المقدرة على الكلام وتعد لوحة جيوناردو دافنشي (التي رسمها في عام 1495) لفارس ميكانيكي يستطيع القيام وتحريك ذراعيه وساقيه (أول محط لإنسالة شبيهة بالإنسان

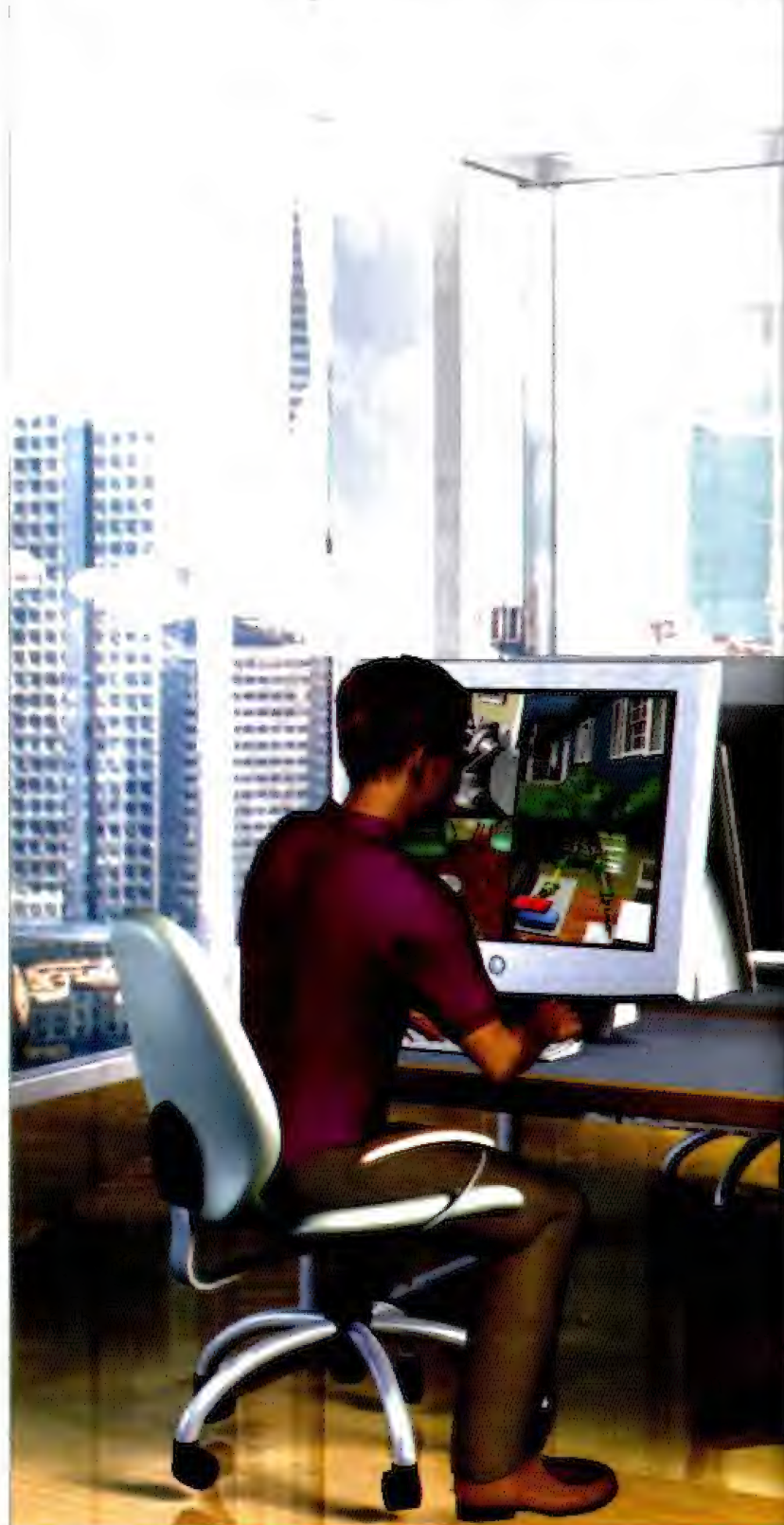
وفي القرن الماضي، غدت الآلات الشبيهة بالإنسان شخصيات مألوفة في الأدب الشعبي من خلال كتب مثل *I, Robot*، «آل، إنسالة» لـ «إزيموف»، وأفلام من قبيل *Star Wars* «حروب النجوم»، ومسلسلات تلفزيونية من قبيل *Star Trek* «الترحال بين النجوم» و«شبيوع الإنسالات» في القصص والروايات يشير إلى أن الناس أخذوا يتقبلون فكرة أن هذه الآلات سوف تمشي يوما

From Science Fiction to Reality

robotics hardware
distributed computing
gods of metalwork

standardization
programming code
broadband

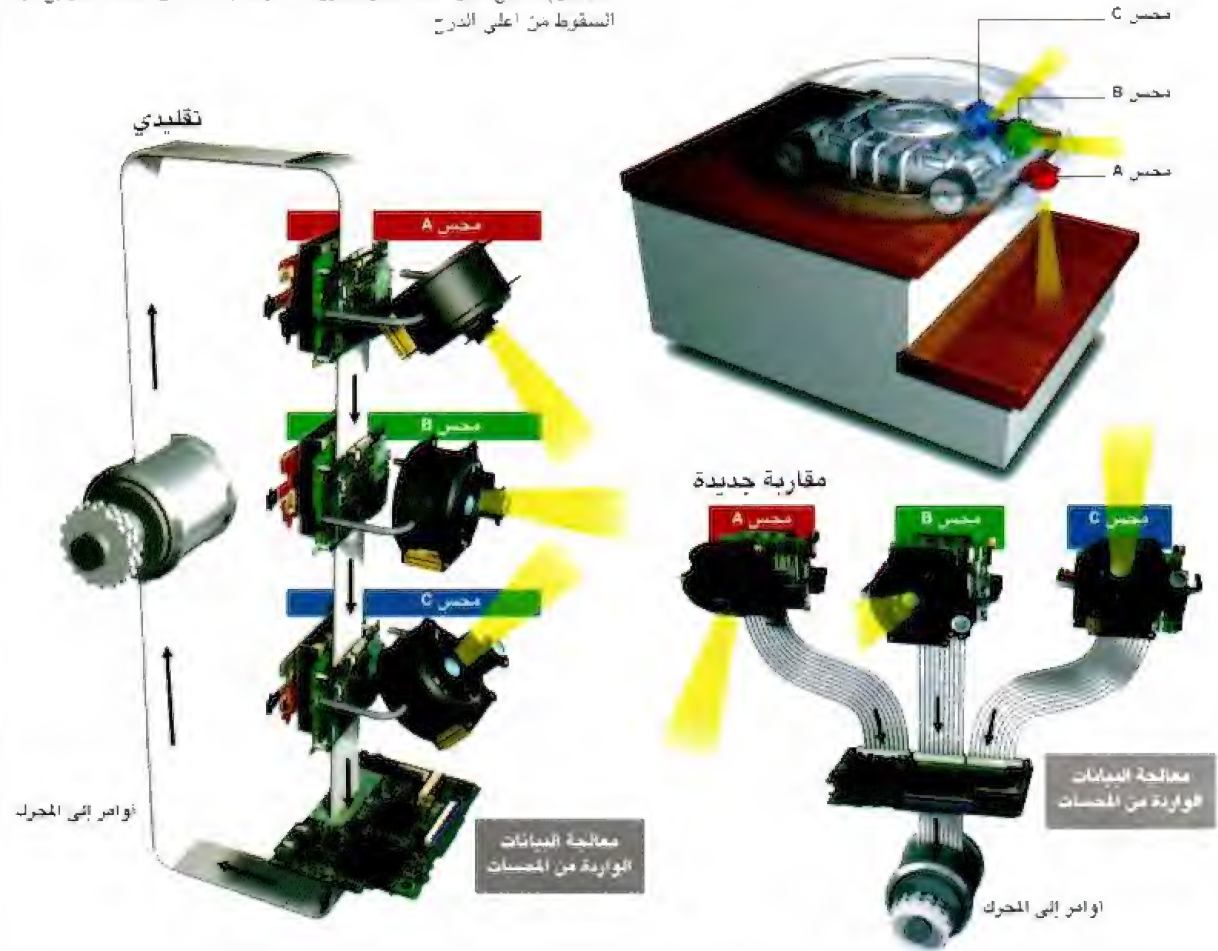
يمكن لربط الإنسالات المنزلية مع الحوسبة الشخصية أن يوفر كثيرا من الفوائد. فمثلا، يمكن التعامل في مكتب أن يسهر على أمن بيته ونظيف أرضيته ورضي ورعاية افرشى الطريحي الفراش بمراقبة شبكة من الانسالات المنزلية من خلال حاسوبه الشخصي. إن هذه الآلات يمكن أن تتواصل لاسلكيا معا، ومع حاسوب البيت الشخصي أيضا



البرمجة الفضلى تعني كيوات أقل

كانت لدى المحس A (الأحمر) قراءات جديدة نشيخ إلى أن الآلة تقف على حافة أعلى الدرج. وكان المبرمج لا يزال يعالج بيانات المحس القديمة، فإن الإنسالة قد سقطت سقطة مريعة. والنهج الأفضل للتعامل مع معضلة التراس هذه هو كتابة برنامج بمسارات بيانات منفصلة لكل محس (أسفل اليمين). وفي هذا التصميم، تعالج القراءات الجديدة فوراً لتمكين الإنسالة من ضغط الكوابح قبل الانسقوط من أعلى الدرج.

يمكن لمعالجة البيانات الواردة من محسبات متعددة، من قبيل محسبات الأتعة تحت الحمراء المينة على الإنسالة في اليمين مثلاً، أن تواحه مازفاً في النهج التقليدي (تحت). يقرأ البرنامج أولاً البيانات من جميع المحسبات، ثم يعالجها ويرسل الأوامر إلى محركات الإنسالة قبل ابتداء الحلقة مرة أخرى لكي إذا



ساعدتهم على ذلك هو التوافر المتزايد لمقايير هائلة من الطاقة الحسابة إن طاقة المعالجة بمقدار اميكاهارتز. التي كانت تكلف 7000 دولار في عام 1970، يمكن أن تشتري الآن بسنتات فقط. وشهد ثمن اميكابتة من الذاكرة انخفاضاً مشابهاً لقد مكن توافر الطاقة الحسابة الرخيصة العلماء من معالجة الكثير من المسائل الصعبة التي هي أساسية لجعل الإنسالات عملية فاليوم، مثلاً، تستطيع برامج تعرف الكلام تمييز الكلمات تميزاً جيداً، إلا أن المعضلة الكبرى هي بناء آلات تستطيع فهم مضمون تلك الكلمات لكن مع استمرار الطاقة الحسابة بالازدياد، فإن مصممي الإنسالات سوف يمتلكون طاقة المعالجة اللازمة للتصدي لمسائل ذات تعقيد أشد بكثير.

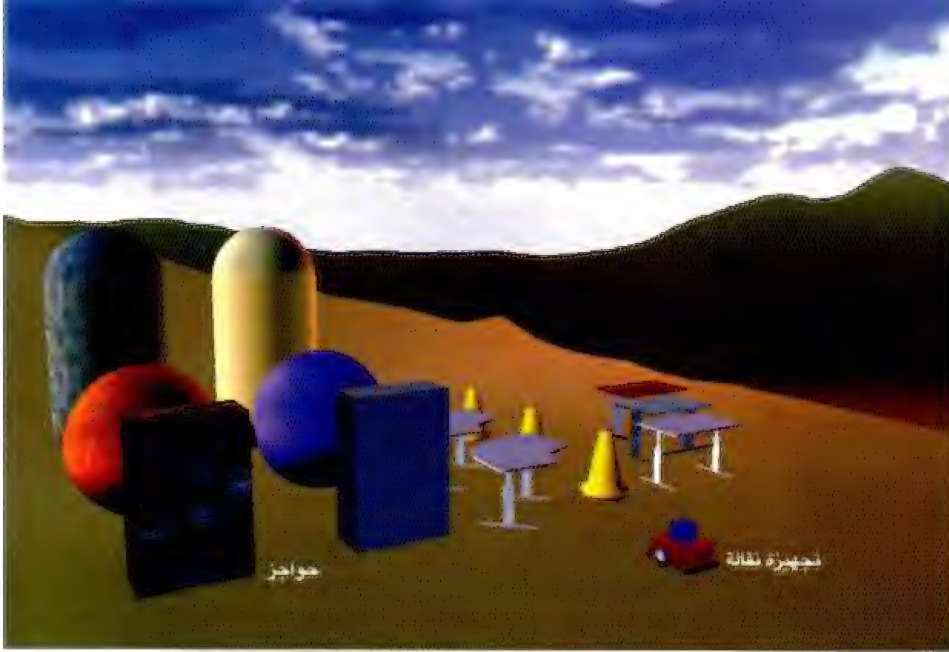
وثمة عائق آخر أمام تطوير الإنسالات هو التكلفة العالية للعتاديات، كالمحسبات التي تمكن الإنسالة من تحديد بُعد الشيء،

BETTER PROGRAMMING MEANS FEWER TUMBLES (١٠)

بيننا كمساعدين وحتى كمراقبين. لكن مع أن الإنسالات تؤدي دوراً أساسياً في صناعات من قبيل صناعة السيارات، حيث يوجد نحو إنسالة واحدة مقابل كل عشرة عمال، فإن الحقيقة هي أن أماناً طريقاً طويلاً قبل أن تضاهي الإنسالات الفعلية نظيراتها في روايات الخيال العلمي.

إن أحد أسباب هذه الفجوة هو أن جعل الحواسيب والإنسالات تتحسس البيئة المحيطة بها وتستجيب لها بسرعة ودقة. هو أمر أشد صعوبة من المتوقع. فقد ثبت أن من الصعب جداً تزويد الإنسالات بقدرات يعتبرها البشر أموراً مسلماً بها - كالقدرة على توجيه أنفسهم بالنسبة إلى الأشياء المحيطة بهم، والاستجابة للأصوات واستيعاب الكلام، وإدراك الأشياء المختلفة في أحجامها وتراكيبها ومنازلها حتى أن شينا بسيطاً كالتمييز بين باب مفتوح وناقذة يمكن أن يكون مريباً جداً للإنسالات.

إلا أن الباحثين بدؤوا بإيجاد الحلول وأحد الجوانب التي



تساعد انسياق الاختبارية الحاسوبية لتجهيز نقالة. في بيئة افتراضية ثلاثية الأبعاد. بناء الإنسان على تحليل وضبط قدرات تصاميمهم قبل تجربتها. إن هذه الأداة، التي تمثل جزءاً من مجموعة التطوير المرشحة، استديو مايكروسوفت الإنساني، تقوم بمحاكاة مفاعل قوى كالتقانة والاحتكاك

R> ويتكر» [قائد مجموعة كارنيكي ملن في تحدي DARPA الأكبر] فإن معظم المكونات العتادية متوفرة، والمسألة الآن هي الحصول على البرمجيات الملائمة لها .

في الأيام الأولى للحاسوب الشخصي، أدركنا أننا بحاجة إلى عنصر يمكن أن يجعل جميع الأعمال الطبيعية تصل إلى الكتلة الحرجة لتندمج في صناعة حقيقية قادرة على إنتاج ما يُفيد فعلاً على الصعيد التجاري وتبين أن ما كنا نحتاج إليه هو لغة BASIC خاصة بمايكروسوفت. وحين ابتكرنا لغة البرمجة تلك في سبعينات القرن العشرين، وفرنا الأساس المشترك الذي مكّن من تشغيل البرامج المكتوبة لمجموعة من العتاديات في عتاديات أخرى وجعلت اللغة BASIC أيضاً برمجة الحاسوب أكثر سهولة، وهذا ما أدخل عدداً أكبر من العاملين في هذه الصناعة صحيح أن كثيرين قد أسهموا إسهاماً جوهرياً في تطوير الحاسوب الشخصي، إلا أن لغة BASIC الخاصة بمايكروسوفت كانت أحد المسرعات الأساسية للادعاءات البرمجية والعتادية التي جعلت ثورة الحاسوب الشخصي ممكنة

بعد قراءة تقرير «تاندی»، تبين لي أنه قبل أن تحصل في صناعة الإنسالية الفقرة الكمومية نفسها التي حصلت في صناعة الحاسوب الشخصي قبل ثلاثين عاماً، فإن على تلك الصناعة أيضاً أن تبحث عن ذلك العنصر المفقود. لذا طلبت إليه تشكيل فريق صغير ليشتبك مع العاملين في حقل الإنسالية لتطوير مجموعة من أدوات البرمجة التي يمكن أن توفر شبكة النقل الأساسية التي تمكن أي شخص يهتم بالإنسالات، حتى وإن كان لا يعرف عن برمجة الحاسوب إلا مبادئها الأولية، أن يكتب بسهولة تطبيقات إنسالية يمكن أن تعمل في أنواع مختلفة من العتاديات، وكان هدفي من ذلك

A Basic Approach (x)

quantum leap (x) وهو أداة تحريك مكونات الآلة

architecture (x) ultrawideband radar (x) radar range finders (x)

quantum leap (x) تعبر عن النظم الكبير المفاجئ والفترة الكمومية في الإلكترونيات في انتقاله من مستوى طاقة إلى آخر فقرة لا تدرجاً (التحرير)

والحركات والمخدمات الميكانيكية" التي تسمح للإنسالة، بتناول الشيء بقوة ورفق، لكن تلك التكلفة أخذت بالانخفاض بسرعة أيضاً. فسعر قاتس المسافة الليزري الذي يُستخدم في الإنسالات لقياس المسافة قياساً دقيقاً، كان 10 000 دولار قبل بضعة أعوام، أما اليوم فيمكن شراء القاتس بنحو 2000 دولار. وثمة محسّنات جديدة ذات دقة عالية تقوم على رادار عرض مجاله فائق، متوافرة حتى بأسعار أقل ويمكن الآن لبناء الإنسالات أن يزودوها، مقابل تكلفة مقبولة، بشبكات النظام العام لتحديد الموقع GPS، وبكمرات فيديو، وبصفيفة من المكروفونات (التي هي أفضل من المكروفونات العادية في تمييز الصوت من الضجيج المحيطي)، وبمجموعة من المحسّنات الإضافية إن تحسين القدرات الناتجة من ذلك، إضافة إلى طاقة الحساب وإمكانات التخزين المتزايدة، تسمح لإنسالات اليوم بفعل أشياء كنتظف أرض الغرفة والمساعدة على تفكيك العبوات الناسفة، وهي أمور كانت مستحيلة بواسطة الآلات المنتجة تجارياً قبل بضع سنوات

نهج أساسي

في الشهر 2/2004 زرت عدداً من الجامعات المرموقة، منها جامعة كارنيكي ملن ومعهد ماساشوسيتس للتقانة MIT وجامعة هارفرد وجامعة كورنل وجامعة إلينويس. للتكلم عن الدور القوي الذي يمكن للحواسيب أن تؤديه في حل بعض أكثر مشكلات المجتمع إلحاحاً، وكان هدفي مساعدة الطلبة على فهم الأثر والاهمية الكامنتين في علم الحاسوب، وتحفيز بعضهم لاتخاذ مهنة في هذا المجال. وفي كل جامعة، بعد تقديم كلمتي، كانت تتاح لي فرصة إلقاء نظرة شخصية على بعض أهم مشاريع البحث في أقسام علم الحاسوب وبلا استثناء تقريباً، رأيت مشروعاً واحداً على الأقل يخطر في الإنسالية:

وفي الوقت نفسه، كان زملائي في مايكروسوفت يسمعون أيضاً أناساً في الهيئات الأكاديمية وفي شركات الإنسالية النجارية يتساءلون إن كانت شركتنا تقوم بأي عمل في الإنسالية يمكن أن يساعدهم على أعمالهم التطويرية لم تكن نعمل في الموضوع، ولذا قررنا النظر في الأمر عن كثب وطلبت إلى «تاندی ترور» - وهو عضو في مجموعتي الاستراتيجية ويمتلك خبرة 25 عاماً لدى مايكروسوفت - القيام بمهمة استطلاعية موسعة والتحدث إلى العاملين في الإنسالية، وكان ما وجدته حماساً عاماً لما تتضمنه الإنسالية من إمكانات، إضافة إلى رغبة شاملة لدى الصناعة في أدوات يمكن أن تسهل أعمال التطوير لقد كتب «تاندی» في تقريره عن مهمته الاستطلاعية الذي قدمه إليّ: «يرى الكثيرون أن صناعة الإنسالية تشهد تحولاً تقنياً أصبح فيه التوجه نحو البناء الحاسوبي أكثر قبولا، وتابع يقول: «وفق ما أشار إليه أخيراً



تُجمَعُ بها النصوص والصور والمعلومات من مخدمات مختلفة في صفحة ويب Web. ونظرا إلى أن البرامج DSS تسمح للمكونات البرمجية بالعمل معزولة بعضا عن بعض، فإنه يمكن إيقاف مكون من مكونات الإنسالة، حين أخفاها، وإعادة تشغيلها، أو حتى استبدالها، من دون الحاجة إلى إعادة إقلاع الآلة. إن هذا البنيان، مع تقانة الاتصال اللاسلكي العريض المجال، يجعلان من السهل مراقبة الإنسالة وضبطها عن موقع بعيد باستخدام متصفح ويب Web browser.

وأكثر من ذلك هو أنه ليس من الضروري وضع التطبيق القائم على الخدمات DSS، والذي يتحكم في آلة إنسالية، بكامله في الإنسالة نفسها، بل يمكن أن يكون موزعا على أكثر من واحد من الحواسيب. ونتيجة لذلك، يمكن للإنسالة أن تكون آلة رخيصة نسبيا تعهد بمهام المعالجة المعقدة إلى عتاديات تعمل بسرعة كبيرة موحودة في حواسيب اليوم الشخصية المنزلية. واعتقد أن هذا التطور سوف يمهّد السبيل أمام فئة جديدة كلياً من الإنسالات التي هي أساساً تجهيزات طرفية لاسلكية تقانة تستمد طاقتها الحسابية من حاسوب شخصي للتعامل مع مهام كثيفة المعالجة من قبيل الإدراك الحسري وتحديد المسار. ونظرا إلى أنه يمكن ربط هذه التجهيزات معا باستخدام شبكة، فإنه يمكن أن نتوقع ظهور مجموعة من الإنسالات التي تستطيع العمل متناغمة لتحقيق أهداف من قبيل وضع خريطة لقاع البحر أو زراعة النباتات.

تعد هذه التقانات جزءا أساسيا من استوديو مايكروسوفت الإنسالي، وهو مجموعة تطوير برمجية بناها فريق «تاندلي» يتضمن هذا الاستوديو الإنسالي أيضا أدوات تسهل بناء تطبيقات إنسالية باستخدام نوع كبير من لغات البرمجة ومن أمثلتها أداة محاكاة تتيح لبناء الإنسالات اختبار تطبيقاتهم في بيئة افتراضية ثلاثية الأبعاد، وذلك قبل تجربتها في عالم الواقع. إن هدفنا من هذا الإصدار هو إيجاد منصة مفتوحة تكلفتها مقبولة وتتيح بسهولة لمطوري الإنسالات مكاملة العتاديات والبرمجيات في تصاميمهم

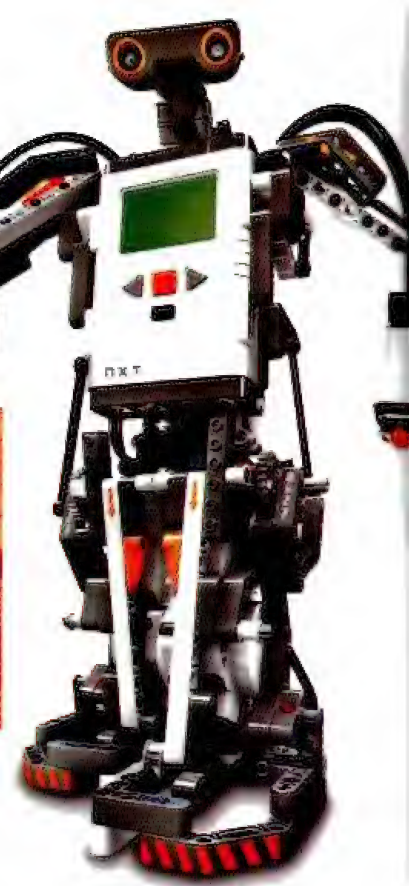
- (1) consistency
- (2) single thread أو وحيد النسب، أو وحيد الشعب
- (3) multi-core
- (4) multi-threaded أو تعدد الخيوط أو متعددة الشعب
- (5) distributed robot
- (6) concurrency and coordination systems
- (7) decentralized software services
- (8) أو الشبكة
- (9) Microsoft Robotics Studio
- (10) wireless personal devices
- (11) simulating tool

هو استقصاء إمكانية توفير النوع نفسه من الأسس العامة لمكاملة العتاديات والبرمجيات في تصاميم الإنسالات التي وفرتها اللغة BASIC الخاصة بمايكروسوفت للمبرمج الحاسوب.

لقد تمكنت مجموعة تاندلي الإنسالية من استخدام عدد من التقانات المتقدمة التي طورها فريق يعمل بقيادة «كريك مودي» [كبير موظفي البحث والاستراتيجية لدى مايكروسوفت] إن إحدى تلك التقانات سوف تساعد على حل واحدة من أصعب المسائل التي تواجه مصممي الإنسالات، وهي كيفية التعامل في الوقت نفسه مع جميع البيانات الواردة من محسسات عدة، وإرسال الأوامر المناسبة إلى محركات الإنسالة. تُعرف تلك المعضلة بالتزامن. في مقاربة مألوفة، يُكتب عادة برنامج تقليدي وحيد الخيط، أي أنه برنامج يتألف من حلقة طويلة تقوم أولا بقراءة البيانات من جميع المحسسات ثم تعالجها وتعطي الأوامر التي تحدد سلوك الإنسالة، وذلك قبل ابتداء الحلقة مرة أخرى. إن عيوب هذا النهج واضحة إذا كانت لدى إنسالتك بيانات جديدة تقول إنها موجودة على حافة منحدر شديد. لكن البرنامج مازال في أسفل الحلقة يحسب المسار ويعطي الأوامر إلى الدواليب للدوران اعتمادا على بيانات محس سابقة. فإن ثمة احتمالا كبيرا لسقوط الإنسالة قبل أن تتمكن من معالجة البيانات الجديدة.

لا تقتصر معضلة التزامن على الإنسالية وحدها. فالיום، ومع ظهور المزيد من التطبيقات المكتوبة للشبكات الموزعة للحواسيب، يجهد المبرمجون لمعرفة كيفية التنسيق الفعال بين أجزاء برنامج يعمل في مخدمات مختلفة في وقت واحد. ومع استبدال الحواسيب الوحيدة المعالج لتحل محلها آلات ذات معالجات متعددة، ومعالجات متعددة النوى، أي دارات متكاملة تحتوي معالجات أو أكثر يعملان معا لتحقيق سرعة أداء أعلى، سوف يحتاج مصممو البرمجيات إلى طريقة جديدة لبرمجة التطبيقات ونظم التشغيل والاستغلال طاقة المعالجات العاملة بالتوازي استغلالا تاما، يجب أن تتعامل البرمجيات الجديدة مع مشكلة التزامن.

إن إحدى المقاربات لمعالجة التزامن هي كتابة برامج متعددة الحيوط تسمح للبيانات بالسير في مسارات كثيرة. لكن هذه المهمة هي إحدى أصعب المهام في البرمجة، وهذا ما يمكن أن يخل به أي مطور كتب برامج متعددة الحيوط. أما الحل الذي ابتكره فريق كريك لمشكلة التزامن فهو شيء يسمى التزامن والتنسيق أثناء التنفيذ (CCR)، وهو مكتبة إجرائيات، أي مكتبة برامج ذات مهام محددة تجعل من السهل كتابة تطبيقات متعددة الحيوط تستطيع التنسيق بين عدد من الأنشطة المتزامنة. وقد تبين أن مكتبة البرامج CCR، التي صُممت لمساعدة المبرمجين على الاستفادة من طاقة النظم المتعددة النوى والمتعددة المعالجات، ملائمة للإنسالية أيضا. فباستخدام هذه المكتبة لكتابة البرامج الإنسالية، يستطيع مصمم الإنسالات تحقيق تقليص هائل في احتمال اصطدام إنسالة بحائط نتيجة انشغال برمجياته بإرسال أوامر إلى دواليبه بدلا من قراءة بيانات من محسساته. إضافة إلى معالجة مشكلة التزامن، فإن العمل الذي قام به فريق «كريك» سوف يبسط أيضا تطبيقات الإنسالية الموزعة. من خلال تقانة تسمى خدمات البرمجيات اللامركزية (DSS)، تمكن الخدمات DSS المطورين من كتابة تطبيقات تعمل فيها الخدمات، أي أجزاء البرامج التي تقرأ بيانات المحسسات أو تتحكم في المحركات مثلا، باعتبارها سيرورات منفصلة يمكن التنسيق بينها بالطريقة نفسها تقريبا التي



ولادة صناعة: قدم مصنعو الإنسالات حتى الآن أنواعا مختلفة من الآلات المفيدة، لكن نصايبهم تلك الآلات متباينة جدا. فستانلي Stanley (في الأعلى)، وهو سيارة داتية النحيد بناها فريق سباق سنايفورد، ربح تجدي DARPA الأكر في عام 2005. حيث قطع أكثر من 130 ميلا في الصحراء دون مساعدة من سائق بشري. و Robot، وهي شركة متمركزة في برلينغتون بماساتشوستس، تصنع Packbot FOD (الصفحة المقابلة) الذي يساعد على التخلص من القابل في العراق، وتصنع Roomba (اليمين) الذي ينظف الأرضيات الخشبية والسجاد. و Lego Mindstorms (القصي يمين هذه الصفحة)، وهي مجموعة أدوات لبناء الإنسالات وبرمجتها، عبت أكثر المنتجات سعا في تاريخ شركة صناعة الدمى الديمقراطية Lego Group.

التخصص وواسعة الانتشار، وإلى أنها لن تبدو إلا قليلا شبيهة لآلات روايات الخيال العلمي الذاتية الحركة ذات السائقين، فإننا على الأرجح لن نسميها إنسالات ومن ناحية أخرى، مع تطور هذه التجهيزات لتصبح تكاليفها مقبولة للمستهلك، فإنها يمكن أن تكون ذات أثر عميق في طرائق عملنا وتواصلنا وتعلمنا وتسليتنا أنفسنا، كذلك الذي كان للحاسوب الشخصي خلال الثلاثين سنة السابقة.

Should We Call Them Robots? (١)
International Federation of Robotics (٢)

(٣) الإنسالة الخيالية المظلية بالذهب التي ظهرت في فيلم حرب النجوم (التحرير)

المؤلف

BILL GATES

أحد مؤسسي ورئيس الشركة مايكروسوفت، وهي كبرى شركة البرمجيات حينما كان في جامعة هارفورد في سبعينات القرن العشرين، طور إصدارا من لغة البرمجة بيث BASIC لأول حاسوب صغير، وهو الحاسوب MITS Altair. وترى الجامعة في السنة قبل الأخيرة ليكرس طاقاته لمايكروسوفت، الشركة التي أنشأها في عام 1975 مع رفيق طفولته Paul Allen. وفي عام 2000، أسس مع زوجته ميلينا مؤسسة بيل وميلينا كينس Bili & Melinda Gates Foundation التي تهتم بتحسين الصحة وتقليص الفقر وزيادة إمكانات الحصول على الثقافة المعلوماتية في شتى أنحاء العالم.

مراجع للاستزادة

More information about robotics in general is available at:

Center for Innovative Robotics: www.cir.ri.cmu.edu

DARPA Grand Challenge: www.darpa.mil/grandchallenge/

International Federation of Robotics: www.ifr.org

The Robotics Alliance Project: www.robotics.nasa.gov

Robotics Industries Association: www.roboticsonline.com

The Robotics Institute: www.ri.cmu.edu

The Tech Museum: Robotics: www.thetech.org/robotics/

Technical details and other information about Microsoft Robotics Studio can be found at msdn.microsoft.com/robotics

Scientific American, January 2007

هل علينا أن نسميها إنسالات؟

هل ستصبح الإنسالات، قريبا، جزءا من حياتنا اليومية؟ وفقا للاتحاد الدولي للإنسالية، كان في عام 2004 نحو مليوني إنسالة شخصية قيد الاستخدام في العالم، وسوف يجري بناء سبعة ملايين أخرى بحلول عام 2008، وتأمل وزارة المعلومات والاتصالات في كوريا الجنوبية بوضع إنسالة في كل بيت فيها بحلول عام 2013. وتنبأ رابطة الإنسالات اليابانية بأن الاستثمارات العالمية في صناعة الإنسالات الشخصية سوف تبلغ، بحلول عام 2025، نحو 50 بليون دولار في السنة، في حين أنها تساوي نحو خمسة بلايين دولار حاليا وعلى غرار صناعة الحاسوب الشخصي في سبعينات القرن العشرين، فإن من المستحيل التنبؤ تماما بالتطبيقات التي سوف تحرك هذه الصناعة الجديدة إلا أنه يبدو من المرجح أن الإنسالات سوف تؤدي دورا مهما في توفير المساعدة لكبار السن، وحتى مرافقتهم وقد تساعد التجهيزات الإنسالية الناس المعاقين على التحول وتزيد من قوة وتحمل الحنود وعمال البناء والعاملين في المجال الطبي وسوف تقوم الإنسالات بصيانة الآلات الصناعية الخطيرة، وتداول المواد السامة والمتفجرة، ومراقبة أنابيب النفط البعيدة وسوف تمكن العاملين في الرعاية الصحية من تشخيص الأمراض ومعالجة المرضى الذين قد يبعدون آلاف الأميال، وسوف تكون عناصر أساسية في المنظومات الأمنية وعمليات البحث والإنقاذ.

صحيح أن بضعة من إنسالات العد قد تشابه الآلات الشبيهة بالجنس التي ظهرت في فلم حرب النجوم، إلا أن معظمها لن يكون كالشبيه البشري (C-3PO) وفي الواقع، مع ازدياد شيوع التجهيزات الطرفية النغالة، قد تكون ثمة صعوبة متزايدة في تحديد تامة ماهية الإنسالة فنظروا إلى أن هذه الآلات الجديدة سوف تكون شديدة

التجوال في الغابات

السواتل "تدلّ على الطريق في رياضة كشف المخبأ" الجديدة.



تُستخدَمات منظومة تحديد الموقع العالمية Global Positioning System (GPS) هي أجهزة ملاحية محمولة سهلة الاستعمال. يستطيع الجهاز eTrex Legend من الشركة Garmin International (في اليسار) والجهاز Sportrak Color من الشركة Magellan (في الوسط) رسم طريق رحلتك وتبين المطاعم والعادق والأمكنة المُتوقَّعة الموجودة على طول الطريق.

WAAS أن تحدّد موضع المستخدم بدقة تصل إلى سبع أقدام، شرط أن يكون الجهاز واقعا في خط البصر المباشر إلى السماء وألا يكون الجو غائما

كنت مولعا منذ صباي في الفرقة الكشفية بالاستدلال على الدروب في الغابات، لذلك كانت سعادتي غامرة عندما أوحى صديق لي بفكرة لعبة كشف المخبأ وفي أول محاولة لنا، اعتمدنا على الجهاز المحمول GPS III+، الذي تصنعه الشركة Garmin International ومستترشدين بقراءات الجهاز، سلطنا ممرا صاعدا في هضبة وقفزنا فوق مجار مائية وسرنا في مرج أخضر تصل سوقه إلى صدورنا ونزلنا إلى وهد تنتثر فيه الأحجار وتصبحني إلى كل عاقل لا تنظر أبدا إلى الأسفل نحو شاشة جهازك أثناء التجوال في الغابة فقد دفعت

أربعة سواتل على الأقل. يستطيع جهاز محمول مُستقبل (نظريا على الأقل) تحديد موضعه عن طريق التثليث triangulation أينما كان على سطح الكوكب

والى عهد قريب كانت الإدارة الأمريكية تقوم ببغثرة scramble إشارات المنظومة GPS. حتى لا يتمكن إلا العسكريون من استقبال أكثر القراءات دقة ولكن إدارة «كلينتون» أوقفت في الشهر 2000/5 يبعثرة الإشارات متبجة بذلك لوحداث المنظومة GPS اندنية تحديد مواقعها بنسبة خطأ تراوح ما بين 20 و 40 قدما. وبعد ذلك بقليل، طرحت عدة شركات أجهزة استقبال رخيصة الثمن وسهلة التشغيل، وتشتمل على خرائط وشاشات مدمجة تعمل على غرار صفحة في شبكة الوب Web. وفي الوقت نفسه تقريبا، نفذت إدارة الطيران الفدرالية منظومة تعريض الملاحة الدولية (WAAS)، وهي شبكة من المحطات الأرضية تعمل على تحسين دقة المنظومة GPS. عن طريق تصحيح أخطاء قياس الزمن والتغيرات في مدارات السواتل وتُستطيع الأجهزة المزودة بأفضلية المنظومة

تهاني فقد عثرت عليه! بقصد أم من غير قصد! لم هذا الوعاء مخبأ هناك! ما هذه الأشياء المتراكمة هنا بحق السماء!

فيما كنت واقفا على تلة بمحاذاة بحيرة جورج في نيويورك، رحت أتفحص الرسالة المتروكة في وعاء بلاستيكي كنت قد عثرت عليه منذ لحظات ملقى على حرف صخري ناتئ كانت الرسالة تشرح بعض القواعد المزعجة التي تستند إليها لعبة رياضية جديدة عالية التقنية تدعى رياضة كشف المخبأ. قرأت الرسالة بانفعال

«هذا الوعاء هو جزء من لعبة عالمية مكرسة لمستخدمي منظومة تحديد الموقع العالمية "Global Positioning System (GPS) تتضمن هذه اللعبة أساسا «كنزا» مخبأ - هو هذا الوعاء ومحتوياته، يتقيه أحد مستخدمي المنظومة GPS، ويشر إحداثياته الصحيحة ليتمكن مستخدم آخر لهذه المنظومة، من متصيدي الكنز، العثور عليه لعبة كشف المخبأ هي بدعة جديدة نسبيا، وقواعدها بسيطة للغاية

1. خذ شيئا من المخبأ
2. اترك شيئا في المخبأ.
3. اكتب ملحوظة في سجل التدوين.

قبل تجربتي مع لعبة كشف المخبأ، كنت اعتقد أن استعمال وحدات محمولة من المنظومة GPS يقتصر على الجوال في البراري وعلى العسكريين. غير أن افتناء العامة لهذه الوحدات والأجهزة صار في السنوات الأخيرة أكثر يسرا تتألف المنظومة GPS من 24 ساتلا وحس محطات أرضية فعند مدارات يبلغ ارتفاعها نحو 12 000 ميل من فوق سطح الأرض، ترسل السواتل إشارات راديوية ضعيفة القدرة على ترددات ضمن نطاق الترددات فوق العالية (UHF) وبقياس زمن انتشار الإشارات القادمة من

(١) A WALK IN THE WOODS

(٢) satellite قمر صناعي

(٣) geocaching

(٤) أو منظومة التوضيح العالمية

(٥) attractions

(٦) Wide Area Augmentation System (التحريير)

ثمن قلة انتباهي. ضربة قوية لتلقيتها على رأسي من غصن متدل منخفض وبعد مسيرة شاقة مسافة 1.2 ميل، أَقْرَأُنا الجهاز أننا بلغنا الإحداثيتين الطولية والعرضانية للخبينة (ويسميان «إحداثيتنا» المُعْلَم " في لغة المنظومة GPS). وبسبب الغطاء الكثيف من الأشجار فقد كان خطأ موضعنا يقارب 45 قدماً فاضطررنا إلى البحث في كل صخرة وشجرة وجوْبة في المنطقة مدة 20 دقيقة من دون أن نعثَر على شيء. ثم ما لبثت أن انطلقت فجأة صيحة الفوز من «D» تايلور» [مرشدي في هذه اللعبة] وهو يشير بيده إلى حرف صخري. فقد كانت جائزتنا مخبأة تحت كومة من العيدان وعاء بلاستيكي بعده 4 بوصات (إنشات) و12 بوصة. كُتِبَ على غطانه باللون الأسود "geocaching.com" رفعنا الوعاء بكل عناية وفتحنا الغطاء. فوجدنا داخله حفنة من الأشياء البسيطة والطريقة: صافرة ومُصَوِّرة (كامرة) لاستعمال واحدٍ ومُخْمَلِي مفاتيح ومصباح يدوي منمنم وشص سنارة، وما إلى ذلك - ومعها سجل تدوين وقلم وبعد أن قرأت جميع الملاحظات التي سجلها اللاعبون الآخرون، وقُتِعَ اسمي في السجل وأخذت شص السنارة من الوعاء. وبعملي هذا أكون قد انخرطت في اللعبة أودعنا تذكارتنا في الوعاء - عبارة عن دماغ من المطاط يحمل كلمة «ساينتفك أمريكان». والتقطنا صورة تذكارية لنا. مستخدمين المصورة الوحيدة الاستعمال ثم أعدنا الوعاء، وخبئناه في مكانه. وغطيناها بالأغصان والعيدان نزلنا الجبل فرحين بالنصر الذي حققناه. يقودنا الجهاز إلى إحداثيات سبق أن أدخلناها لموقع سيارتنا

وفي جولتي اللاحقة، اختبرت أربعة أجهزة مختلفة من وحدات المنظومة GPS، من حيث دقتها وسهولة استعمالها اخترت وحدتين من وحدات المبتدئين هما: Geko 201 من الشركة Garmin International (ثمنها 149 دولاراً) و SporTark Map من الشركة Magellan (ثمنها 229 دولاراً)، مع وحدتين أكثر تقدماً هما eTrex Venture من الشركة Garmin's (ثمنها 194 دولاراً) و SporTark Color من الشركة Magellan's (ثمنها 499 دولاراً). وتعرض كل واحدة من هذه الوحدات خريطة على شاشة مع مُوصلة رقمية ومتفقي

سوائل، يتيح لك مغرفة عدد إشارات المنظومة GPS التي تستقبلها. وإدخال إحداثيات المعلم التي تدل على المكان الذي نقصده أمر سهل. بسهولة كتابة نص الرسالة على هاتف خلوي وكل ما تحتاج إليه. لكي تحصل على معلومات عن أحد المواقع من سوازل المنظومة GPS، هو أن توجه الوحدة نحو السماء ومع الخبرة، يصبح تفسير الخرائط وفهم قراءات الموصلة أسهل فأسهل

أثنا، دحولي إلى الموقع www.geocaching.com.

قمت بالبحث عن مخاين قريبة من بيتي في



وجدتها: إحدى لاعبات رياضة كشف المخبأ نعثَر على جائزتها، بإرشاد من وحدة المنظومة GPS. وهي غنية مملوءة بالأشياء البسيطة والطريقة وضعت داخل حطبة مجوفة.

الضاحية الشمالية من نيوجرسي. فقدد لي الموقع ستة مخاين في حدود أربعة أميال. حدّد كلا منها الشخص الذي أخفاها، كما أعطى إحداثيات موضع المخبأ فاستعنت بواحد من محرري ساينتفك أمريكان ورحنا نفقش عن أقرب مخبأ بواسطة الأجهزة المحمولة الأربعة. وبعد أن أدخلنا إحداثيات المخبأ المنشود في كل جهاز، حددنا مساراً من منزلي إلى مكان المخبأ على الخريطة المعروضة على الشاشة ثم تابعتنا طريقنا سيراً على الأقدام في الاتجاه الذي تحدده الموصلة

وأثنا، سيرنا في مُتَنَزّه مجاور، كانت الأجهزة «تُحدِّث» بشكل متواصل مسافتنا عن المخبأ ومع أن جهازي الشركة Garmin يوفران عدداً أقل من التحديثات مما يقدمه جهازا الشركة Magellan، فإنهما يقيسان المسافة بدقة أكبر وللحصول على قراءات أكثر دقة لموضع المستخدم. يُفضل الوقوف بثبات مدة 10 ثوانٍ إلى 15 ثانية في منطقة مكشوفة وكان الخطأ

المحتمل في هذه الرحلة يقارب 15 قدماً فقط. لذلك لم يتطلب الأمر منا بعد يلوغ إحداثيات المخبأ إلا بضعة دقائق من التفتيش للعثور على الكنز المخبأ

على كل حال، فقد تعلمنا بسرعة أن الأجهزة لا تعمل جيداً في المدن المكتظة. فبإمكان إشارات المنظومة GPS اختراق السحب والزجاج والپلاستيك (اللدائن)، ولكن ناطحات السحاب تحجبها تماماً لذلك فإن أفضل دقة توصّلنا إليها في وسط حي «مانهاتن» بلغت 150 قدماً ولكننا تمكّنا من العثور على قرص هيئة المساحة الوطنية الجيوديزية إلى جانب المبنى الرئيسي للمكتبة العامة في نيويورك (فالاقراص النحاسية - التي يبلغ قطرها 3 بوصات، الموزعة في أنحاء الولايات المتحدة - تسمح بالمنسح الدقيق لأعمال الهندسة المدنية وعلوم رسم الخرائط).

بعد استكشاف دام شهرين، أصبحت متمرساً في رياضة كشف المخبأ، فقد حددت إلى الآن مواقع 96 مخبأ و27 قرص مُعْلَم في أربع ولايات هي نيويورك ونيوجرسي وبنسلفانيا وكونتكت، وفي ثلاثة بلدان هي الولايات المتحدة وكندا وإنكلترا. وأفضل الأجهزة المتقدمة على نظيراتها المبتدئة لتعدّد ميزاتها، فهي قادرة على اختزان أكثر من 100 مُعْلَم وأفضل بشكل خاص من بين الأجهزة التي اختبرتها، أغلاها ثمناً لأنها تعرض الخرائط ملونة، أي Magellan (Sportrak Color). ولما كانت الطرق والأنهار معروضة بألوان مختلفة في هذه الوحدة، فإني لم أكن أخشى قط قيادة السيارة في أي زقاق متعرج على الرغم من نشاطي المفرط. يلزمي عمل جهد كبير للعثور على الكنز المتناثرة على كوكب الأرض. فحسب موقع geocaching في شبكة الوب، يوجد حالياً 76 477 مخبأ في 190 بلداً، كما يوجد 10 000 شخص تقريباً يسعون إلى الكشف عنها. ويضاف إليها 50 مخبأ جديداً وسطياً كل أسبوع، وهذا ما يناسب تطلعاتي

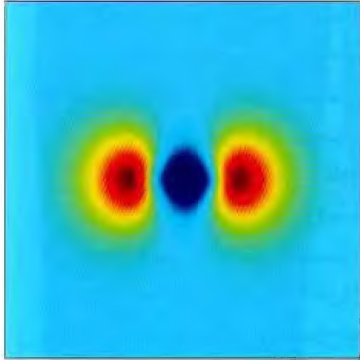
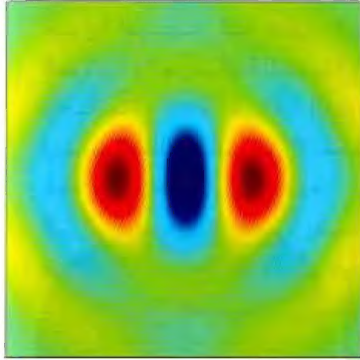
waypoints
disposable camera
National Geodetic Survey disk

المؤلف

Mark Clemans

مساعد المدير الفني لدى مجلة ساينتفك أمريكان

تصوير الجزيئات بالمسح الطبقي المحوسب إنتاج صور ثلاثية الأبعاد لمدارات الإلكترونات.



ينسحق مدار الإلكترون في جزيء النيتروجين كما صور (في الأعلى) اتفاقاً جيداً إلى حد ما مع المدار المحسوب من نماذج نظرية (في الأسفل). فغالب كل صورة هو 0.6 نانومتر في 0.6 نانومتر وتمثل الألوان سعة الدالة الموجية الكمومية، ويرجح أن يكون الإلكترون موجوداً في المواضع ذات اللون الأحمر والأزرق العايق.

للإلكترون، مثل رتلين من الموجات بتقاطعان ويشكلان توتراً يشبه رقعة الشطرنج

ولإكمال التصوير يتبغى كشف هذا الشكل التداخلي فحين تسير الموجة المستوية فإن الشكل بهتز بسرعة، وهذا يجعله يصدر إشعاعاً فوق بنفسجي وهو الإشعاع الذي يرصده الباحثون أما المعلومات عن ظل مدار الإلكترون كما تراه الموجة الإلكترونية المرحلة فيطبع على الانبعاث فوق البنفسجي، ويتطلب الحصول على صورة ثلاثية الأبعاد تكرار العملية بزوايا مختلفة، مثل الماسح الطبقي المحوسب في المستشفى. تضبط الروايات بواسطة محاكاة جميع جزيئات النيتروجين في العينة باستخدام نبضة ليزر أضعف قليلاً قبل عدة بيكو ثانية (10^{-12} ثانية) من وصول نبضة التصوير

تتفق نتيجة التصوير اتفاقاً جيداً مع شكل مدار الإلكترون المحسوب نظرياً يقول «كراوز» [من معهد ماكس بلانك للبصريات الكمومية بالقرب من ميونيخ]: «دهشت كثيراً حين رأيت صور المدارات الجزيئية التي تم الحصول عليها أول مرة إن لهذه التقنية إمكانات كبيرة» وكانت مجموعة «كراوز» قد أوضحت في أواخر عام 2003 نوعاً آخر من التصوير باستخدام نبضات مدتها 250 أتوثانية (2.5×10^{-13} ثانية) من الضوء فوق البنفسجي المتطرف، وهذه أقصر نبضات ضوئية تم الحصول عليها حتى الآن فالطريقتان متكاملتان - ففي طريقة «كراوز» يسهم ديناميك الإلكترونات الداخلية، أما في طريقة «كوركم» و«فيلنوف» فتسهم الإلكترونات الخارجية

سيكون تطبيق التقنية على جزيئات أكثر تعقيداً أمراً مهماً للغاية، وكذلك تطبيقه على جزيئات تكون خلال عملية انخراطها في تفاعل كيميائي ويقول «فيلنوف» إنه يفكر في يوديد ثلاثي الفلورومتيل الذي يمكن تحطيمه بواسطة نبضات من ليزر المجموعة، ويضيف: «ومن ثم نستطيع متابعة التفكك وقياس حركة الذرات» ■ «كوليز»

توصف الأجسام في العالم الكوموي بواسطة الدوال الموجية فالإلكترونات الموجودة حول الجزيء، مثلاً تكون في مدارات orbitals موجية الشكل، وهذه أشكال متفشفية تعين الخواص مثل طاقة الإلكترونات ونوع الجزيء إلى الإسهام في مختلف التفاعلات الكيميائية، لكن المدارات كائنات زلقة تتحدى، بسبب مبدأ الارتباب لهايزنبرك، الجهود الروتينية المبذولة لتصويرها تصويراً كاملاً ودقيقاً. ولكن الباحثين في مجلس الأبحاث الوطني الكندي بأوتاوا حصلوا حالياً على مسح ثلاثي الأبعاد لمدار الإلكترون الخارجي حول جزيء النيتروجين و«سرعة الالتقاط» في طريقة التصوير كبيرة لدرجة تكفي لأن تمكّن يوماً ما من أخذ مسح لجزيئات وهي في منتصف تفاعلها الكيميائي وتستخدم المجموعة التي يرأسها «كوركم» و«فيلنوف» نبضة ليزرية لا تدوم سوى 30 فمتوثانية (3×10^{-14} ثانية) وخلال فترة النبضة الليزرية بهتز حقل الموجة الضوئية الكهربائي نحو عشر مرات وكل اهتزازة تبعد الإلكترون الخارجي لجزيء النيتروجين عن الجزيء، ثم تعيده إليه

ومع أنه يبدو أن الأمر يعتمد على الليزر لكي «ينير» الإلكترون، فالواقع أن الإلكترون في طريق عودته نحو الجزيء، هو الذي يفعل فعل حزمة التصوير وبصورة أدق، يقوم حقل الليزر بإبعاد وتقريب جزء من دالة الإلكترون الموجية ويمكن النظر إلى هذا وكأن الإلكترون موجود في مكانين في الوقت ذاته، فهو يبقى في الغالب في مكانه في مداره الأصلي حول النيتروجين، ولكنه حزيناً يتدفع مبتعداً يحول التسارع الحاد الموجة الإلكترونية المرحلة إلى موجة مستوية، مثل نبضة منتظمة حميلة لحزمة إلكترونية ذات طول موجي قصير إلى أقصى حد - وهو بالضبط نوع الحزم المفيد في التصوير وحين تعود الموجة المستوية وتقاطع الجزيء، فإنها تحدث شكلاً تداخلياً مع الجزيء المستقر من الدالة الموجية

CT SCAN FOR MOLECULES
quantum world
wave functions
heisenberg's uncertainty
light up
computer
fluoromethyl iodide

كاليفورنيا، ها نحن قادمون

عن بقية الشركات حين دعت حدود الانبعاثات. وهذه الشركة تنتج حاليا 12 في المئة من إجمالي إنتاجها من الكهرباء من مصادر متجددة (باستثناء المحطات الكهرمائية الكبرى). كما تخطط لزيادة تلك الحصة إلى 20 في المئة بحلول عام 2010.

ولعل الفضل الأكبر لقانون كاليفورنيا هو تشجيع ولايات أخرى على اتخاذ إجراءاتها الخاصة حيال الاحتراز العالمي فقد اتفق سبعة من حكام الولايات الشمالية الأمريكية ضمن المبادرة الإقليمية لغاز الدفيئة Regional Greenhouse Gas Initiative (كونكتكت، ديلاوير، ماين، نيوهامبشاير، نيوجرسي، نيويورك، فرمونت) على تخفيض انبعاثات غاز الدفيئة بمقدار 10 في المئة بحلول عام 2019. كما أصدرت المجموعة حديثا قائمة بالقواعد النمطية الواجب اعتمادها من قبل المجالس التشريعية في الولايات أو الوكالات المقنونة regulatory agencies وفي هذه الأثناء أقامت اثنتا عشرة ولاية مجتمعة دعوى قضائية

فدرالية ضد وكالة حماية البيئة Environmental Protection Agency. مفادها أن قانون الهواء النظيف Clean Air Act يتطلب من الوكالة ضبط regulate غازات الدفيئة. ويتوقع أن تصدر المحكمة العليا الأمريكية حكمها بهذا الشأن في هذا العام (2007).

ولكن المحاكم الفدرالية يمكنها إحباط جهود الولايات بدل مساندتها، فقد سنت كاليفورنيا عام 2002 قانونا يدعو إلى تخفيض 30 في المئة من

انبعاثات غاز الدفيئة من السيارات والشاحنات المباعية في الولاية، وبعد سنتين أقامت النقابات التجارية التي تمثل صناعة السيارات دعوى قضائية ادعت فيها أن التعليمات الصادرة تتعارض مع القانون. لأنها تفرض تحسينا في اقتصاد الوقود، وهذا الأمر هو من صلاحيات الحكومة الفدرالية التي لها وحدها الحق بفرض مثل هذه الضوابط. إننا نأمل بكل حماس أن ترفض المحاكم هذه الحجة وأن تقر الحق الأساسي للولايات في حماية مواطنيها من النتائج الكارثية للاحتراز العالمي

ساينتيفيك أميركان

بعد انقضاء المسرحية الوثائقية حول الاحتراز العالمي global warming بعنوان «حقيقة مزعجة» inconvenient truth وهي التي لاقت رواجا في صيف 2006، طرح السينمائيون قائمة تتضمن خطوات عملية يمكن لأي فرد أن يتخذها حيال هذه المشكلة البيئية المتفاقمة. ولعل أكثر الاقتراحات رواجا كان التالي: انتخاب الزعماء الذين يأخذون عهدا على أنفسهم بحل هذه المعضلة. اكتب إلى مجلس النواب، وإذا لم يصغوا إليك جاهد للوصول إلى مجلس النواب، إن الحكومة الفدرالية هي لسوء الحظ متأخرة وراء حكومات أمم أخرى في الجهود للسيطرة على غازات الاحتراز المناخي. ولهذا يأخذ رجال القانون حاليا زمام المبادرة. ففي الشهر 8/2006 أصدر المجلس التشريعي في كاليفورنيا مشروع قانون يدعو إلى

تخفيض 25 في المئة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئة greenhouse gases الأخرى بحلول عام 2020. وعلى الرغم من تعهد ولايات أخرى بإجراء تخفيض مماثل، فإن كاليفورنيا هي أول من فرض حدود الانبعاثات كذلك حظي الاقتراح بدعم كل من المجلس التشريعي ذي الأغلبية الديمقراطية وحاكم كاليفورنيا «شوارزنكر»

لقد اعترضت غرفة التجارة في كاليفورنيا على هذا المشروع القانوني مدعية أنه لن يؤثر بشكل مهم في المناخ العالمي، نظرا لأن

الصناعات الملوثة ستعيد ببساطة نقل نشاطاتها إلى خارج الولاية لكن هذه الحجة تستند إلى فرضية خاطئة، نظرا لأن تخفيض غازات الدفيئة لا يكلف غالبا: إذ إن تحسين مردود الطاقة في مصنع أو مبنى تجاري يؤدي إلى انقاص استخدام الكربون. وفي الوقت نفسه إلى توفير في النفقات لقد ساعدت التقنيات المتقدمة الحديثة على توليد الكهرباء من مصادر متجددة للطاقة كتوربينات (عنفات) الرياح wind turbines والمنظومات الحرارية الشمسية solar-thermal systems ومنشآت الحرارة الأرضية geothermal facilities بشكل منافس اقتصاديا لإنتاج الطاقة من حرق الفحم أو الغاز الطبيعي. ولقد نأت شركة الباسفك للغاز والكهرباء بنفسها



يجب على شركات الطاقة في كاليفورنيا الحد من انبعاثات غاز الدفيئة فيها.

اسألوا أهل الخبرة

كيف تختزن البطاريات "الكهرباء" وكيف تفرغها؟⁽¹⁾

يجيب عن هذا السؤال «ك» بكل [الباحث
الزائر لمركز دراسات التصنيع المتكامل في
معهد روتشستر للتقانة]:

عندما توصل بطارية عادية بحمل، مثل مصباح
إضاءة، تخضع هذه البطارية لتفاعلات كيميائية
تحرر إلكترونات. فتفسر هذه الإلكترونات عبر
المصباح، ومن ثم تعود إلى البطارية (توجد أيضا
أجهزة تختزن طاقة ميكانيكية، غير أن أكثر
البطاريات شيوعا - كذلك المستعملة في الأضواء،
الكشافات وأجهزة التحكم من بُعد - تحتفظ بالطاقة
في شكلها الكيميائي). يوجد داخل البطارية خلية
كلفانية⁽²⁾ واحدة على الأقل، تعطي ما بين صفر
وبضعة فولتات، بحسب كيميائيتها. ففي بطارية
السيارة، تكون الخلايا الست التي يسهم كل
منها بـ ٢ فولت، مربوطة على التسلسل، فتكون
بطارية ذات ١٢ فولت.

تتألف الخلايا الكهركيميائية
جميعها من إلكترونين⁽³⁾ تفصل بينهما
مسافة محددة، ويكون الحيز بين
الإلكترونين مملوءا بكهرليت⁽⁴⁾ سائل أو



ما وصلت البطارية بحمل كهربائي، فإن
الإلكترونات، التي تستبدلها الكبريتات، تنتقل
خارج الخلية عبر الحمل معطية تيارا كهربائيا.
يمكن أن تستمر الخلية الكلفانية بإعطاء
إلكترونات حتى تنفذ المواد الكيميائية (الوسطية).
وهي المركبات التي تقود تفاعلات الأكسدة والإرجاع.
من أحد الإلكترونين أو من كليهما ففي البطارية غير
القابلة لإعادة الشحن، يكون التفاعل الكيميائي الذي
أعطى الطاقة غير عكوس⁽⁵⁾ بسهولة، وعندما تنفذ
المادة الكيميائية من الخلية تصبح الخلية غير قابلة
للاستخدام. أما في البطارية القابلة لإعادة الشحن،
مثل خلية الرصاص الحامضية، فالتفاعل عكوس⁽⁶⁾ أي
إن مبعدا خارجيا للتيار الكهربائي المستمر يمكن أن
يجبر الإلكترونات على الجريان من الكاثود إلى
الأنود إلى أن يعاد شحن الخلية.

■ «D. روزن»

- How Do Batteries Store and Discharge Electricity? (١)
galvanic cell (٢) أو المُنْخَرَات
electrodes أو مسربين (٣)
electrolyte أو إلكتروليت (٤)
cathode أو المهبط (٥)
anode أو المصعد (٦)
not reversible (٧) (التحريض)

كيف يتمكن الهاكرز (قراصنة الحواسيب) من «ولوجها»؟^(١)

يجيب عن هذا السؤال «C.J.D» ريان [الأستاذة
المساعدة في جامعة جورج واشنطن]:

ما يحدث فعلا هو أن القراصنة ينفذون إلى
داخل نظام حاسوبي عن طريق استغلال مواطن
الضعف الموجودة عمليا في برمجيات أو عتاديات
كل نظام. وقبل الدخول في تفاصيل طرائقهم، لا بد
من تعريف بعض المصطلحات الحاسوبية، فمصطلح
«هاكر» (العابث) hacker مصطلح خلاقي يستعمله
بعضهم لوصف أولئك الذين تتجاوز اختراقاتهم
للنظم الحاسوبية حدود المعرفة من دون قصد
والتعمد في إلحاق الضرر في حين يسعى
«الكراسر» (المخترق) cracker إلى إيقاع نوع من
الاذي أو التخريب وإنني شخصا أقصّل استعمال
تعبير «المستخدم غير المخول» unauthorized user (U.U.)
لوصف كل من يلج النظام الحاسوبية ولوجا غير
مشروع، علما بأن عملية «الولوج» تحتل أحد ثلاثة
معانٍ. أما النفاذ إلى معلومات مخزنة في حاسوب،
وأما استعمال قدرات معالجة في جهاز حاسوبي
خلسة (لإرسال مادة دعائية مثلا)، وأما اختطاف
معلومات وهي في طريقها (مرسلة)
بين منظومتين

ككيف إذا ينفذ مستخدم غير مخول إلى
الحاسوب؟ إن أسير مواطن الضعف التي يمكن
استغلالها كلمة مرور لم يحسن اختيارها؛ إذ
تستطيع برامج اختراق كلمات المرور تمييز
مفردات وأسماء، معجمية، وحتى عبارات شائعة،
في غضون زمن قصير لا يتجاوز الدقائق. وكثير
من هذه البرامج قادر على تنفيذ «هجوم معجمي»
وذلك باخذ نظام التشفير الذي استعمله نظام
كلمة المرور، وتشفير كل كلمة في المعجم، ثم
يحاول هذا المستخدم اختبار الكلمات المشفرة إلى
أن يقع على التفسير المطابق لكلمة المرور؛ أما إذا
كان للنظام كلمة مرور معقدة، فقد يحاول هذا
المستخدم تنفيذ «حيلة تقنية»، وذلك بالاستفادة من
المعرفة التقنية لاقتحام نظام حاسوبي (بدلا من
الخيارات غير التقنية من قبيل سرقة وثائق خاصة
بنظام ما) وهذه الطريقة تنطوي على صعوبة
أكبر، إذ يتعين على المستخدم غير المخول أولا
معرفة نوعية النظام المستهدف وإمكاناته
وبإمكانه. إذا كان خبيرا متمرسا، أن يفعل ذلك
من بُعد بالاستعانة ببروتوكول لنقل
النصوص الترابطية hypertext transfer

(http) protocol للنفاذ إلى الوب web، حيث تدور
صفحات الوب عادة تطبيقا المتصفح المستعمل.
ومن ثم يستطيع العابث أن يكتب برنامجا يستغل
هذا الإجراء، بل أن يجعل صفحة الوب تطلب
مزيدا من المعلومات وما إن تصبح هذه المعلومات
في حوزته حتى يكتب برنامجا يتفادى وسائل
الحماية الموجودة في النظام.
ومع أنه يتعذر عليك إزالة مواطن الضعف
المحتملة جميعها، فإن توسع اتخاذ إجراءات وقاية
من النفاذ غير المشروع: تيقن من استعمال أحدث
الوصلات في نظام التشغيل والتطبيقات الخاصة بك
وأشئ كلمة مرور معقدة تحتوي على مزيج من
حروف وأرقام ورموز. وانظر في إمكان تركيب برنامج
حماية خاص يعترض سبيل المنقولات غير المرغوبة
الواردة من الإنترنت واحرص كذلك على تجديد
برمجياتك المضادة للفيروسات الحاسوبية، مع المراقبة
المستمرة لدلائل ظهور فيروسات جديدة، وأخير
احتفظ دائما بنسخة احتياطية عن بياناتك تمكّنك من
استرجاع المهم منها في الحالات الطارئة.

■ «D. إكنونا»

- How do computer hackers "get inside" a computer? (١)
hackers, Crackers, Spies (٢) وشايف كتاب
and Thieves

